

Agriculture Canada

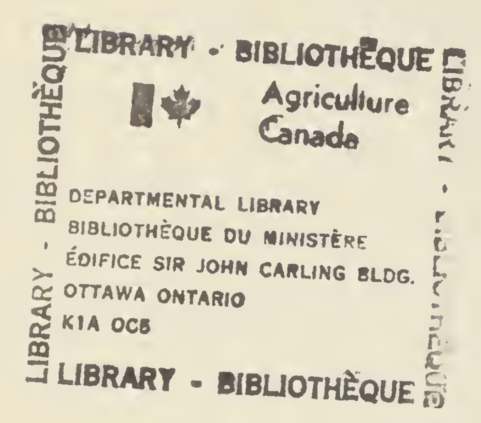
Research Branch | Direction générale de la recherche

Contribution 1982-5F

Les céréales et la préparation du sol

Canada

Sur la couverture, les points sur la carte indiquent les établissements de recherche d'Agriculture Canada.



Les céréales et la préparation du sol

G.M. BARNETT
Station de recherche
Lennoxville (Québec)

R. RIOUX et J.E. COMEAU
Ferme expérimentale
La Pocatière (Québec)

Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
1982

On peut obtenir des exemplaires de
cette publication du
Directeur
Station de recherche
Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
C.P. 90
Lennoxville (Québec)
J1M 1Z3

ou du

Régisseur
Ferme expérimentale
Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
La Pocatière (Québec)
G0R 1Z0

Production du Service aux programmes de recherche

Avant-propos

Ce document couvre plusieurs aspects de la préparation des sols pour les semis de céréales, mais ne prétend pas être une revue de littérature complète.

Il concerne "le lit de semence", le travail complet et minimum du sol, le labour, le hersage, le compactage, les exigences climatiques des céréales, la préparation à l'automne, le drainage et les méthodes de semis.

Les auteurs remercient J.L. Dionne, Suzanne Gagné-Giguère et Maryse Bergeron pour la révision du texte, Gaétanne Fortin et Lise Côté pour la dactylographie, ainsi que Jean-Paul Bourque pour les illustrations.

Table des matières

Liste de tableaux

Liste des figures

Summary

Cereals require some sort of soil preparation either mechanical and/or chemical. Primary tillage (generally plowing) which improves soil structure and controls unwanted vegetation is more certain for success than chemical preparation. However, (fall-applied) glyphosphate plus other herbicides in the spring can produce yields equivalent to tilled soils in some cases. Secondary tillage (harrowing) levels the soil for machine operation and weed control. Excessive secondary tillage destroys soil structure and causes compaction. Tillage can often be reduced where there is no compaction, where cereals follow cereals or row crops, and where there are few weeds.

Cereals must be seeded early to produce good yields of quality grain. To do so, time for soil preparation must be reduced to a minimum. This may mean doing some preparation (disking if necessary) in the fall and having adequate drainage, particularly surface drainage to remove snowmelt as soon as possible. Cereals require a seedbed with about 3 cm of loose soil over a firm base.

1. Introduction

1.1 Facteurs qui influencent le rendement

Le rendement et la croissance des céréales sont influencés par plusieurs facteurs: la fertilité du sol, le drainage, le choix de la variété, l'acidité du sol, la date de semis, la température, la précipitation, la répression des mauvaises herbes, le type de sol, etc... De tous ces facteurs, le plus important est la date de semis; ce facteur peut à lui seul influencer les rendements de 50 à 100% (Fig.1).

Parce que le système de culture conventionnel comprend la préparation du sol au printemps, ce facteur contrôle la date de semis. La préparation du sol devient alors un élément très important pour la culture céréalière.

1.2 La préparation du sol

La première opération d'importance une fois la décision de cultiver les céréales prise, est de préparer le champ à recevoir la culture. Il y a plusieurs facteurs à considérer à ce moment là: les exigences des céréales en termes de température et de photopériode, le drainage du sol, la date de semis, la culture précédente, la monoculture ou la rotation, l'état d'ameublissement du sol, les effets de la préparation sur le sol et les besoins du lit de semence. Il faut marier les besoins des céréales avec les besoins du sol en termes de préparation

2. Le degré d'ameublissement du sol

Un facteur très important à considérer est le degré d'ameublissement. Les céréales demandent un sol bien ameubli avant et pendant leur croissance. L'ameublissement est l'état physique d'un sol relié à sa facilité à être travaillé, sa qualité comme lit de semence et sa résistance à la croissance des racines et des plantes. Un sol qui est en bon état pour les plantes requiert un minimum d'énergie lors de sa préparation, tout en donnant une bonne granulation (4). Le degré d'ameublissement est une condition dynamique du sol. Il dépend de plusieurs antécédents culturaux; les cultures précédentes et la rotation, l'utilisation des amendements, le type de sol et la préparation primaire et secondaire.

L'ameublissement est souvent mesuré par la porosité ou la granulation du sol, ou par la résistance à la pénétration mesurée avec un pénétromètre (4). La croissance est meilleure lorsque les granules ne sont ni trop grosses ni trop fines, i.e. lorsqu'elles ont environ 2 mm (Tab. 1,2).

3. Le lit de semence

3.1 Définition

Le lit de semence est la couche de sol préparé pour recevoir les graines de façon qu'elles puissent germer facilement et que les racines des

plantules puissent profiter de conditions physiques propices (4). Le lit de semence sert non seulement pendant la germination mais pendant toute la vie d'une plante.

3.2 Qualités d'un bon lit

Un bon lit de semence comporte plusieurs caractéristiques (4): il est poreux, aéré, granuleux et résistant à l'érosion et à la traction.

3.2.1 Infiltration

Le lit de semence doit permettre une infiltration rapide et la rétention de la précipitation. Une couche compacte à la surface augmente le ruissellement et réduit l'infiltration.

3.2.2 Aération

Le lit de semence renferme une quantité d'air adéquate dans le sol et permet un échange facile avec l'atmosphère. L'aération du lit est nécessaire étant donné que les racines et les graines ont besoin d'oxygène pour leur croissance. De plus, l'activité microbienne du sol nécessite de l'air pour la nitrification.

3.2.3 Résistance

Un sol de structure granulaire offre peu de résistance à la pénétration des racines.

3.2.4 Erosion

Un bon lit de semence résiste à l'action de martellement de la pluie, favorise l'infiltration de l'eau et réduit le ruissellement.

3.2.5 Résidus des cultures

Les résidus des cultures sont incorporés au sol plutôt que laissés en couche: ce travail favorise une bonne décomposition, la formation de l'humus et la granulation.

3.2.6 Traction

Un sol granulaire permet une meilleure traction sous une plus grande gamme de conditions d'humidité qu'un sol compact.

3.3 Profil d'un bon lit de semence

Même si l'avoine n'est pas exigeante quant à la préparation du sol, il lui faut un lit de semence ferme, humide et friable, mais légèrement rugueux (13, 24). Le blé et l'orge exigent un lit ferme (13).

Le lit de semence idéal possède des granules grossières à la surface; la finesse des granules doit augmenter avec la profondeur (4). En fait, il faut rétablir le profil qui existait avant le labour. C'est le profil qui permet un bon échange d'air, l'infiltration de l'eau et la résistance des granules à la pluie. Un lit idéal est constitué de granules dont 50% ont entre 3 et 6 mm de diamètre, et 50% ont moins de 3 mm de diamètre (30). Un mélange de particules de différentes grosseurs est préférable. Un bon lit de semence est assez ferme en profondeur et meuble en surface, ce qui permet un bon enracinement.

4. Travail complet vs travail minimum du sol

Autrefois, la seule façon de changer ou de contrôler la végétation consistait à utiliser des moyens mécaniques comme le labour et le hersage. Avec l'avènement des herbicides, il est maintenant possible de préparer un sol même engazonné sans utiliser ou avec une utilisation minimum de moyens mécaniques. Un sol qui antérieurement aurait servi à la culture céréalière ou sarclée, requiert relativement moins de travail. A cause du coût croissant de l'énergie et de compactage du sol, un travail minimum et même nul du sol (no-till ou semis direct) présentent maintenant un certain intérêt.

Des expériences européennes ont démontré que les augmentations du rendement de blé étaient aussi fréquentes que les diminutions dans un système de semis direct (no-till) par rapport au sol travaillé avec le blé (Fig. 2). Par contre, 56% des données ont favorisé le système conventionnel comparativement au semis direct avec l'avoine et l'orge (Fig. 3). Les différences souvent étaient dues aux populations des céréales, aux mauvaises herbes, aux différentes maladies et pestes (1). Dans une autre expérience, le semis direct du blé (no-till) a été favorisé en saison sèche, tandis qu'en saison humide, le sol labouré a donné de meilleurs résultats lorsque la fertilisation azotée était faible. Des taux d'azote plus élevés ont nivelé les différences (Tab. 3). Le labour a toujours augmenté les rendements de l'orge et le cultivateur rotatif les a toujours diminués (Tab. 4,5). Il faut une préparation soit mécanique ou chimique: le semis direct sans préparation, n'est pas acceptable (Tab. 6). Un travail minimum a toujours abaissé le rendement de maïs (Tab. 21, 22).

La préparation sans travail du sol présente un intérêt, mais le labour produit plus souvent des rendements légèrement supérieurs. Le travail minimum peut se faire sur un retour de céréales ou de culture sarclée, à condition qu'il y ait peu de graminées. On le pratique généralement pour une période limitée (1 ou 2 ans). Lorsqu'il y a danger d'érosion (surtout en sols légers), cette technique peut être très utile si on laisse les déchets de culture en surface.

5. Effets de la préparation

5.1 Sur le sol

La préparation mécanique du sol affecte plusieurs facteurs et cela, de façon différente.

5.1.1 Structure grossière du sol

Un sol non labouré (no-till) présente toujours des résidus de plantes et d'algues à la surface, tandis que le sol travaillé est propre. Un sol travaillé est plus rugueux et moins dense qu'un sol semé directement (no-till) (Tab. 22). Souvent un sol labouré et hersé forme une croûte à la surface, tandis que le sol semé directement (no-till) n'en forme pas, et ce à cause d'une structure de surface stable (1).

5.1.2 La faune

Les effets de la préparation sur la faune ne sont pas clairs. Parfois l'activité microbienne (par décomposition de la cellulose) est plus élevée, parfois elle est moins élevée dans un sol travaillé. Dans une monoculture de blé le nombre total de nématodes était plus élevé dans un sol semé directement (no-till), tandis que les nématodes parasitaires et migratoires étaient moins nombreux (1). Normalement, il y a plus de vers de terre en poids et en nombre dans des sols semés directement (no-till) et leurs activités sont plus grandes. Il y a plus de taupes dans le sol non travaillé. Les différences des populations dans la faune ne sont cependant pas très prononcées.

5.1.3 Matière organique

Quatre vingt treize à 98% de la paille enfouie a été décomposée tandis que seulement 22 à 40% de la paille laissée en surface a été décomposée. La matière organique était moins élevée en sol travaillé, comparativement à un sol non travaillé, étant donné une minéralisation plus rapide (1) en sol travaillé. La matière organique se décompose donc plus vite dans un sol travaillé.

5.1.4 Porosité du sol

La porosité totale et la fraction des grands pores sont plus élevées dans un sol travaillé (Fig. 5, Tab. 22), alors que la fraction des petits pores varie peu, en comparaison d'un sol non travaillé. En profondeur la porosité totale et la proportion des grands pores sont sensiblement les mêmes dans un sol travaillé comparativement à un sol non travaillé (Fig. 6). En sol travaillé, il y a du compactage dans la couche de 0 à 15 cm et dans celle de 25 à 30 cm, alors qu'il y en a peu dans la couche de 15 à 20 cm (Fig. 6). La couche indurée de 25 à 30 cm a été créée par la charrue (semelle de labour). Dans un sol non-travaillé (no-till), il y a plus de petits pores et leur stabilité rend le sol plus homogène dans l'espace et dans le temps. On retrouve un plus grand nombre de tunnels continus creusés par les vers de terre dans un sol non-travaillé (no-till) comparativement au sol travaillé. Une autre expérience a démontré que la charrue a toujours produit un sol moins dense avec une aération plus élevée que la charrue chisel. Le cultivateur rotatif a réduit l'aération et a augmenté la densité apparente (Tab. 7). Le travail du sol peut augmenter la porosité à court terme, mais peut produire une semelle de labour (zone de compactage).

5.1.5 Aération et eau

Lorsque le pourcentage d'eau du sol a atteint le point de capacité au champs (33 kilopascal, pF 2), il faut avoir 10% de la porosité résiduelle aérée, pour faciliter un échange d'air adéquat entre le sol et l'atmosphère. Seuls les sols lourds peuvent avoir moins de 10%. Le labour augmente la proportion d'espace aéré (1).

Il n'y a pas eu de différence entre la quantité d'eau dans les sols travaillés et non travaillés (no-till). Mais, pendant le séchage, la tension d'eau dans le sol non travaillé (no-till) était plus faible (donc l'eau est plus disponible) que dans le sol travaillé (Fig. 8). Lorsque les granules sont plus grosses, la tension de l'eau est plus élevée (Fig. 9).

Les résidus ayant protégé la structure du sol, la paille a favorisé une augmentation du taux d'infiltration. Au début, l'infiltration est plus rapide dans un sol travaillé. Lorsque la partie meuble est saturée, le taux est contrôlé par le sous-sol et l'infiltration diminue. La paille réduit l'évaporation au début du cycle de séchage, mais lorsque le sol en dessous de la paille est sec, il n'y a pas de différence.

Souvent, il y a plus d'eau et elle est plus disponible dans un sol non travaillé. Le travail du sol peut favoriser l'aération des sols lourds.

5.1.6 Température du sol

La température de la surface varie plus, pendant la journée, dans un sol travaillé que dans un sol non travaillé. Par contre, les variations en profondeur sont plus faibles dans un sol travaillé que dans un sol non travaillé. Lorsque la température de l'air s'élève, la température d'un sol travaillé est plus élevée en surface et plus faible en profondeur que celle d'un sol non travaillé. L'inverse se produit lorsque la température de l'air baisse (1). Plus les granules à la surface sont grosses, plus le sol est froid (Tab. 8).

5.1.7 Erosion

A cause d'une structure de surface plus stable et d'un contenu plus élevé en matière organique et en résidus, l'érosion est souvent réduite sur le sol non travaillé (no-till). Par exemple, un terrain non travaillé a été érodé de 2 t/ha de sol comparé à 20.5 t/ha pour un terrain travaillé. Le travail du sol a augmenté l'érosion éolienne de 6 fois par rapport au sol non travaillé. Pendant une tempête de vent, il y a eu 321 t/ha de sol perdu sur un sol travaillé (1).

5.1.8 Traction

Un sol non travaillé est accessible aux machines plus vite après une pluie et pour plus longtemps en périodes humides qu'un sol travaillé. Ordinairement, il se produit moins de dommage sur un sol non travaillé lorsqu'il faut circuler en périodes humides (1).

5.1.9 Distribution des éléments nutritifs

Le travail du sol mélange les éléments nutritifs dans la couche de labour (Fig. 10). Lorsque le sol n'est pas travaillé, les éléments immobiles comme le P, K, Ca et Mg s'accumulent en surface même si ceci ne réduit pas beaucoup leur disponibilité. L'azote a tendance à rester plus près de la surface, à cause de l'accumulation de la matière organique sur le sol non labouré (Fig. 11). Lorsqu'il faut incorporer les amendements - la chaux par exemple - la charrue est indispensable.

5.2 Sur les plantes

5.2.1 Germination

La germination des céréales dans un sol non travaillé (no-till) est souvent de 20% plus faible que dans un sol travaillé. Les résidus nuisent au placement précis de la graine dans le sol. Ces résidus et la concentration des éléments chimiques à la surface peuvent réduire la germination. Elle est aussi diminuée dans un sol non travaillé (no-till) en temps froid et humide. Le sol travaillé est plus chaud et mieux aéré. Par contre, en périodes chaudes et sèches, un tel sol est défavorisé.

5.2.2 Croissance des racines

La croissance des racines dans un sol labouré est plus rapide, mais les racines se ramifient plus tôt dans un sol non labouré (no-till). Dans certains cas, la densité et la masse des racines sont plus élevées dans un sol travaillé, mais généralement il n'y a pas de différence entre les sols non labourés et labourés. Les racines sont moins profondes et s'étendent plus superficiellement dans un sol non labouré mais elles sont plus grosses (1). Les racines du blé d'hiver produisent généralement plus de racines dans un sol travaillé (Fig. 12) que dans un sol non travaillé.

5.2.3 Absorption des éléments nutritifs

Généralement, le travail du sol n'affecte pas le contenu en P et en K des céréales. Par contre, l'azote est souvent plus élevé dans les parties végétatives des céréales en sol non labouré (no-till), ce qui indique une croissance moins rapide. D'ailleurs un rendement plus bas a réduit le prélèvement d'azote à la récolte (Fig. 13).

5.2.4 Croissance

La croissance des céréales est plus hâtive dans un sol travaillé (1, 7). Même si l'azote a éliminé des différences finales dans le rendement total, le rendement en grain était plus élevé dans les sols travaillés (Tab. 9). En période froide, la croissance plus rapide du maïs dans un sol travaillé est due à une température du sol plus élevée, tandis qu'en période chaude la croissance plus rapide dans un sol non travaillé (no-till) est attribuable à son contenu plus élevé en eau. La croissance relative, dans les sols travaillés ou non travaillés, dépend de la température.

5.2.5 Changements dans les mauvaises herbes

Le labour renouvelle la population de mauvaises herbes annuelles en ramenant les graines à la surface, tandis que dans un sol non labouré, leur nombre décroit quand la répression est adéquate (Fig. 14, Tab. 10). Par contre, si la répression n'est pas adéquate ou s'il y a des espèces résistantes (chiendent), seul le labour ou l'herbicide peut assurer un bon contrôle. Souvent en sol non labouré, il y a des plantes volontaires (autres céréales ou maïs) qui germent et réduisent la valeur de la récolte. La monoculture réduit le nombre de mauvaises herbes et provoque un changement des espèces présentes.

5.2.6 Maladies et pestes

Il y a plus de piétin (Ophiobolus graminis) et plus de tache ocellée (Cercosporella herpotrichoides) - deux champignons du sol - et la céréale a été attaquée plus rapidement et plus sévèrement dans une monoculture de blé sur sol travaillé (1). L'indice de la tache ocellée était de 1.7 sur le sol non travaillé et de 2.0 sur le sol travaillé (29). Par contre, sur le sol travaillé, il y a moins d'insectes, comme le vers du maïs, et moins de souris, de limaces et de taupes (1).

6. La charrue et le labour

6.1 Buts du travail primaire - le labour

Il est évident que la charrue et le labour sont indispensables à la culture des céréales - pas nécessairement tous les ans, mais au moins tous les 3-4 ans. La structure du sol (Tab. 1,2) et la répression des mauvaises herbes (Fig. 15) sont des facteurs très importants pour la culture céréalière. L'instrument le plus utile et le plus efficace pour détruire la végétation est la charrue (5). Ses effets bénéfiques sur la porosité sont démontrés aux tableaux 11, 22 et 24. Dans le cas des sols argileux la charrue est indispensable, alors que pour les sols légers, elle n'est pas toujours nécessaire. Les raisons les plus importantes qui justifient le labour sont l'amélioration de la structure du sol, la destruction de la végétation et la préparation du lit de semence (4, 18).

6.2 Importance d'un bon labour

Parce que les opérations subséquentes au labour détruisent la granulation produite par la charrue (Tab. 24), il est important que le labour soit bien fait. Un bon labour (sillon bien tourné, égal et uniforme, l'herbe enfouie) réduit au minimum le nombre de hersages. Un mauvais labour nécessite plusieurs hersages supplémentaires pour corriger les défauts et niveler le lit de semence tout en détruisant la structure du sol. L'importance des cliniques de labour est évidente. Les principes de labour ne s'appliquent pas seulement lors des concours.

6.3 Succès du labour

6.3.1 Humidité du sol

Le facteur principal qui contrôle le succès et la qualité du labour en termes de granulation, est l'humidité du sol (4). Il y a une humidité du sol optimum pour produire la meilleure granulation. Quand le sol est trop sec ou trop humide, le labour, surtout dans le cas des argiles, entraîne la formation de mottes et multiplie le besoin des hersages. Or que faire étant donné que le sol atteint rarement l'humidité optimum au moment du labour?

6.3.2 Labour à l'avance

Humidité du sol et les résidus

Parce que le labour d'un sol trop sec ou trop humide produit des méfaits sur la granulation, il faut labourer à l'avance, c'est-à-dire à l'automne, pour permettre à la nature d'apporter les correctifs nécessaires: soit par le gel et le dégel, l'humidification et le séchage (4, 23). De plus, la décomposition des résidus commence avant le semis. Les labours du printemps non seulement retardent le semis (13), mais de plus produisent des mottes étant donné que le sol a rarement atteint une humidité propice. De plus, la décomposition au printemps semble produire des substances (éthylène et autres) qui sont toxiques pour les racines. Parfois, un retour de prairie est tellement enraciné que seul le labour à l'avance peut permettre assez de décomposition pour faciliter les travaux subséquents.

Sols compacts et sols difficiles

Il n'est pas possible de bien labourer un sol compact en surface. Le labour produit des blocs et le seul remède est l'action de l'hiver (4). Il y a quand même certains sols qui ne se labourent pas facilement. Le sol adhère au versoir et la cohésion interne du sol est faible. Le sillon se déplace de côté au lieu de s'inverser. Ces sols, à cause d'un mauvais rapport sable: limon: argile, ne peuvent pas être améliorés par le labour et conservent leurs mauvaises propriétés physiques.

Temps du labour

Le labour du printemps a diminué le rendement du blé et a augmenté le chiendent (Tab. 12). Le labour du printemps a fait baissé le rendement sur le loam St-André, mais ne l'a pas affecté sur l'argile Kamouraska (Tab. 13). Il n'y a pas eu de baisse de rendement sur l'argile Kamouraska, parce que le site a pu être labouré tôt et permettre un semis hâtif. Le loam St-André, même s'il est graveleux, est très humide au printemps et se prépare tard. Il est évident que le labour fait à l'automne plutôt qu'un simple disquage, a permis une meilleure répression du chiendent. La répression chimique était aussi efficace que le labour (Tab. 14). Il est évident que la préparation à l'automne (labour et disque) suivie d'un hersage à ressorts au printemps est aussi bon que la répression chimique.

Il faut labourer à l'avance pour permettre à la nature de corriger les défauts d'un sol trop sec ou trop humide, d'un sol compact en surface au moment du labour pour permettre la décomposition des résidus et de la tourbe et le contrôle des mauvaises herbes.

6.4 Choix de la charrue

Il faut choisir la charrue selon la profondeur du labour, la largeur de la roue du tracteur, la vitesse du labour. Le type de versoir utilisé, sa longueur et sa courbature dépendent des conditions du sol. Un sol bien enraciné exige un versoir long et très courbé. La popularité des charrues européennes est due à leurs versoirs très longs et très courbés. Les charrues pour les sols légers et/ou peu enracinés et celles pour le labour à vitesse élevée ont des versoirs courts et à angle élevé. Le labour des sols adhérents exige un versoir latté.

6.5 Ajustements de la charrue

Un bon labour exige un minimum de travail secondaire (hersages). Dans ce cas, le passage d'une herse est nécessaire seulement afin de niveler le sol pour le semoir et non pas pour corriger la labour mal fait.

L'adaptation la plus importante à faire est de régler l'écartement des roues avant et arrière du tracteur. L'écartement doit être de 3 fois la largeur du soc plus 10 ou 12 cm (mesuré entre les faces intérieures des pneus). Une charrue de 40 cm exige un écartement de 132 à 135 cm entre les roues, peu importe le nombre de socs. Il faut écarter les roues gauches et droites à distance égale du centre du tracteur. Il faut mettre la charrue d'aplomb, ajuster la largeur du premier soc, ajuster le coutre de 2.0 à 3.2 cm plus haut que la pointe et à 1.0 cm du côté gauche, et la profondeur (pas plus que 2/3 de la largeur). Il faur uniformiser la distance entre le versoir et ajuster les rasettes, s'il y en a.

Quand la charrue est ajustée, il faut ouvrir le labour de façon à couper toute l'herbe et à faire une couronne plate. Quand la couronne est complétée, il faut conserver une largeur uniforme aux sillons qui doivent être bien serrés les uns contre les autres. A l'avant dernier-tour, il faut respecter la largeur à labourer, le nombre de socs et la profondeur du dernier soc de manière à ce que la charrue puisse s'appuyer sur du sol solide au dernier tour de labour.

L'étude du manuel d'instructions de la charrue et l'assistance aux cliniques et aux concours de labour sont indispensables pour apprendre la technique d'un bon labour.

6.6 Action de la charrue

La granulation du sol se fait sous l'action de la charrue telle qu'indiquée à la figure 16. La pointe compresse le sol jusqu'à ce que la force de compression excède la force de cisaillement. Le sillon monte de l'horizontal au vertical sur la courbure du versoir à une vitesse croissante. Dans un même temps, le versoir tente de déplacer le sillon dans la direction du labour à cause de la friction du sol et du métal. Ces deux mouvements, de l'horizontal à la verticale et vers l'avant, exercent une force de compression sur le sol et quand celle-ci excède la force de cisaillement du sol, le sol se brise en blocs.

En même temps, le versoir déplace le sillon à 45° de la ligne d'avancement tout en poussant la partie supérieure du sillon vers l'avant et à droite pour la placer sur son bord contre le sillon précédent. En fait, il y a une rotation de l'horizontal au vertical et ensuite une inversion vers la droite. Lorsque le sillon se dépose, des fractures perpendiculaires aux fractures primaires se forment. C'est ainsi que la granulation se fait. Parce qu'il y a des parties faibles et fortes dans le sol, ces brisures ne se font pas toujours régulièrement. Ces ruptures sont moins évidentes dans une friche (4).

6.7 Profondeur du labour

Le labour à 10, 14, 18 et 25 cm de profondeur a produit des rendements de blé de l'ordre de 2258, 2332, 2278 et 2285 kg/ha (13). Avec le labour à 8, 18 et 30 cm de profondeur, le rendement moyen du blé pendant 40 ans a été de 1579, 1680 et 1599 kg/ha. Souvent un labour plus profond que 18 cm a provoqué une baisse de rendement à cause d'un sous-sol très acide ou pauvre. Les amendements peuvent corriger ce problème (4). Il n'y a pas d'avantage à labourer plus profondément que 18 cm même lorsqu'on sème du maïs (13, 21). Lorsqu'il y a formation d'une semelle de labour, il vaut mieux varier la profondeur.

7. Travail secondaire du sol - le hersage

Le hersage du sol produit plusieurs effets. Il est évident que les effets d'un hersage à l'automne ou au printemps diminuent avec la progression de la saison végétale.

7.1 Effets du hersage

7.1.1 Nivelage

Il y a des systèmes (surtout dans le cas des cultures sarclées) qui permettent le semis direct sur les sillons sans travail secondaire (Tab. 22). Mais dans le cas des céréales, il faut avoir un lit de semis relativement uniforme afin d'assurer le bon fontionnement du semoir. En fait, la profondeur de hersage contrôle la profondeur du semis (12). Surtout sur un labour de friche et même sur un retour de céréales, un nivelage à profondeur uniforme (Fig. 32) est nécessaire (12). Pour ce faire on utilise généralement la herse. Le nivelage du sol constitue la principale raison pour laquelle les travaux secondaires du sol sont effectués.

7.1.2 Infiltration

Le hersage augmente d'abord l'infiltration (Fig. 18) jusqu'à ce que la surface soit saturée. Ce point atteint, l'infiltration est contrôlée par la vitesse du mouvement de l'eau dans le profil du sol. Le ruissellement et l'érosion dépendent de la condition du sol au début de la pluie (Tab. 15). Un sol à particules plus grossières a perdu moins de sol et d'eau que des sols compacts en surface. Les pertes sont plus importantes pour les sols accidentés que pour les sols des plaines (4).

7.1.3 Aération

Le travail secondaire augmente la porosité et l'aération du sol. La proportion de gros pores augmente plus que la porosité totale. Ce fait est important pour les sols compacts et les sols où l'eau peut rester en surface. Le hersage augmente la décomposition de la matière organique en augmentant l'activité microbienne et par la suite le contenu en nitrates. (4).

7.1.4 Contrôle des mauvaises herbes

Le hersage est très important dans le contrôle des mauvaises herbes (Tab. 14, 16). Son effet est plus constant que l'action des herbicides. Le hersage léger au printemps d'un sol préparé à l'automne est indispensable (Tab. 16).

7.1.5 Evaporation

On soutient souvent que le hersage réduit l'évaporation de l'eau. En réalité, le hersage n'a pas beaucoup d'effet (Tab. 17) sur l'évaporation. Les différences sont surtout dues au contrôle des mauvaises herbes (4).

7.2 Nombre de hersages

Le type et le nombre de hersages dépendent de la culture, de la condition présumée du sol et de l'opinion du producteur. Généralement, l'effet du hersage sur la structure est temporaire et ne doit pas être confondu à la structure permanente du sol produit par la nature (racines, vers, matière organique, etc...). Il faut réduire le nombre de hersages au minimum car le hersage détériore la structure du sol (5) (Tab. 24) et détruit les bienfaits du labour. Un hersage supplémentaire (de 2 à 3) a augmenté de 52 à 55% le pourcentage de granules plus petits que 4 mm de diamètre, et a réduit l'indice de rugosité de 0.77 à 0.69. Une réduction de la distance entre les dents a produit les mêmes effets négatifs sur la structure (12).

Le meilleur travail secondaire du sol est le travail minimum nécessaire pour produire un bon état d'ameublissement et un bon lit de semence (4).

7.3 Type de herse

Plusieurs modèles de herses peuvent servir au travail secondaire du sol (Tab. 18, 19). Les anciennes herses à ressorts font un excellent travail du sol. Les résultats de recherche indiquent que le rendement des céréales n'est pas affecté par les différents modèles de herses (12).

8. Roulage

Lorsqu'on a un bon lit de semence, le roulage n'est pas nécessaire au bon rendement des plantes céréalières. Quand le sol est mal préparé et a une "mie" de 8-10 cm, le roulage corrige ce défaut partiellement et peut augmenter la proportion des pores occupés par l'eau après la pluie. Par contre, le roulage n'augmente pas l'eau capillaire et le mouvement de l'eau vers la graine. De plus, le roulage détruit la structure du sol et favorise le "croûtage" des sols. Bien souvent, le bienfait du roulage relève plutôt de l'illusion d'optique. Les plants ressortent plus sur un sol plat que sur un sol où il y a des mottes de 5 à 8 cm. La recherche a démontré que les bienfaits du roulage sur la levée ont été contrebalancés par la suite par une croissance et un rendement réduits (4).

Ces remarques s'appliquent à la culture céréalière faite sur un bon lit de semence. Souvent la céréale sert de plante-abri dans une culture de

plante fourragère. Il faut que la surface du sol soit plane avant de procéder au fauchage des plantes fourragères. Le roulage peut aider le nivelage en enfouissant les cailloux et les mottes. Le même principe s'applique aussi à la moisson des céréales versées.

Il est évident que le roulage des céréales semées hâtivement et/ou dans un bon lit de semence n'est pas nécessaire. Il apporte un correctif à un mauvais lit de semence et peut produire des bienfaits pour la récolte des cultures fourragères.

9. Compactage du sol

Disons d'abord qu'un travail excessif du sol détruit sa structure, gaspille l'énergie et généralement diminue les rendements (Fig. 17, 21). Des opérations en trop grand nombre font augmenter le compactage et par conséquent, font diminuer les rendements (Fig. 20, 21) (4). Une augmentation de l'humidité du sol, du nombre de passages et de la pression du pneu augmentent le compactage (Fig. 19). Même la herse à disques provoque le compactage (4).

Il est évident qu'un bon labour réduit le nombre de hersages et par la suite le compactage. Une réduction du nombre de passages, de la pression des pneus, une augmentation du diamètre des roues, et un travail à l'humidité propice réduisent le compactage.

10. Rotations

10.1 Céréale comme plante-abri

Les céréales sont cultivées traditionnellement comme plante-abri pour les plantes fourragères dans une rotation de culture sarclée (pour nettoyer le terrain),de céréale grainée et de 2-3 ans de foin. La rotation était employée pour fournir l'azote produit par les légumineuses aux graminées, pour nettoyer le terrain (culture sarclée), pour rénover la prairie, pour ralentir la détérioration du sol, et pour contrôler les maladies. Pourtant le sol s'est quand même détérioré (Tab. 20, 23). La pratique d'utiliser la céréale comme plante-abri a pour effet de réduire et le rendement et l'établissement de la plante fourragère (Fig. 22).

10.2 La monoculture

La monoculture de céréales se pratique très bien et même à long terme (Fig. 23). Le blé cultivé en monoculture dans la champ Broadbalk à Rothamsted a d'abord diminué de rendement mais il est demeuré stable par la suite. Aux Etats-Unis, le rendement n'a pas diminué pendant 30 ans sur les Plaines et pendant 65 ans en Oklahama (23). Par contre, d'autres résultats font état d'une baisse de rendement à long terme (Fig. 24).

Mais ceci est probablement dû à un manque d'azote (18). Il peut devenir nécessaire de briser de temps en temps la monoculture grâce à une plante fourragère afin d'améliorer la structure du sol (Tab. 23, fig. 34).

10.3 Degré de préparation

Les céréales demandent toujours une préparation minimum du sol avant le semis, soit mécanique ou chimique. Le degré de préparation mécanique nécessaire dépend surtout de la culture précédente: le degré d'enracinement de la couche de labour. Un sol peu enraciné (retour de céréales ou culture sarclée) exige moins de préparation qu'un sol bien enraciné (retour de prairie).

10.3.1 Retour de prairies

La méthode conventionnelle de préparation consistait à labourer et à herser afin d'assurer la destruction de la végétation et l'amélioration de la structure du sol. Lorsque la structure du sol est bonne et qu'il n'y a pas de compactage du sol la préparation chimique est possible (Voir section 4). Cependant, le labour permet un meilleur contrôle de la végétation et produit d'habitude de meilleurs rendements que la méthode chimique (Tab. 13) ou les méthodes à travail réduit (Tab. 21).

10.3.2 Retour de cultures en rangs

Souvent après une culture sarclée telle que celle du maïs, un hersage avec disques est suffisant pour la culture du blé, de l'orge et de l'avoine (13, 24). Il n'y a pas eu de différence dans le rendement de l'avoine lorsque le sol, au retour d'une culture de maïs, a été labouré et disqué, labouré et hersé ou disqué 2 fois. Dans une autre expérience, l'avoine, semé directement sur le retour du maïs, a produit 2186 kg/ha. Avec un disquage avant le semis, elle a produit 2361 kg/ha et lorsqu'on a labouré, le rendement était 2235 kg/ha (24). Les auteurs ont remarqué que l'avoine se sème plus hâtivement lorsqu'il n'y a pas de préparation à faire avant le semis. Un disquage fait au printemps a suffit pour le retour de pommes de terre. Lorsqu'il y avait des mauvaises herbes sur une culture sarclée, il était préférable de labourer à l'automne plutôt que disquer (4, 24).

10.3.3 Retour de céréales

Dans l'Est du Canada, la pratique courante a été de labourer et de disquer lorsqu'il s'ouvrait une monoculture de céréales (13). Dans l'Ouest, il n'y a pas eu de différence entre la préparation avec une charrue chisel à 15 et 30 cm, le cultivateur à pied de canard, la charrue, le "lister" et le "one way" (23). Avec l'avènement des herbicides, un choix est à faire entre préparations par moyens mécaniques ou chimiques.

S'il n'y a pas trop de mauvaises herbes, particulièrement de vivaces, un disquage à l'automne suivi d'un hersage à ressort au printemps peut suffire à court terme. Après 2 ou 3 ans de ce traitement, les vivaces augmentent rapidement (Tab. 16) et une intervention avec une charrue ou un herbicide est nécessaire (Tab. 13, 14). Il faut noter le succès remporté par un labour et un disquage à l'automne suivi par un hersage au printemps. Comme le sol a été labouré l'année précédente ou était déjà meuble, un disquage a suffit mais on devait noter la présence de plus de mauvaises herbes (4).

Donc le degré de préparation nécessaire diminue dans l'ordre suivant: retour de prairie, retour de céréales, retour de culture sarclée. La préparation doit être plus drastique quand il y a des vivaces. Les moyens mécaniques contrôlent toutes les mauvaises herbes de façon plus sûre que les moyens chimiques.

10.3.4 Préparation automnale non complétée

Parfois la température ne permet pas la préparation automnale. Généralement les céréales sont récoltées assez tôt pour permettre la préparation. Par contre, le maïs est toujours récolté tard ce qui rend assez souvent le labour automnale impossible. Dans ce cas, que faire au printemps?

Les semis peuvent être faits directement sur le sol non labouré ou disqué. Le maïs est semé entre les rangs de l'année précédente. Dans certains cas, il faut poser des disques spéciaux au planteur de maïs afin de couper les tiges ou pour ameublir le sol. Si le sol a été abimé, s'il est compacté ou s'il y a beaucoup de déchets, la herse à disque peut préparer un lit de semence propice au maïs. Le même principe s'applique aux céréales s'il n'y a pas beaucoup de vivaces. S'il y en a beaucoup, le seul remède est le labour puisque le traitement chimique du chiendent au printemps n'est pas possible. Ces méthodes de préparation nul ou minimum donnent le plus souvent des résultats légèrement inférieurs aux préparations complètes. Le labour au printemps par contre retarde trop les semences.

11. Exigences des céréales

11.1 Généralités

Les céréales (l'orge, l'avoine et le blé) poussent mieux dans les régions fraîches et humides et ne sont pas adaptées aux climats chauds (13). L'avoine a besoin de plus d'humidité que le blé et l'orge. Une température élevée pendant la floraison réduit le nombre d'épis. Une température chaude et sèche pendant le développement provoque une maturation hâtive tandis qu'une température chaude et humide pendant la maturation augmente l'incidence des maladies (13).

11.2 Température du sol (20)

La première partie de la graine à émerger est la coleorhize. Peu après les racines primaires sortent suivies de l'émergence de la plumule. Il a été remarqué que ce dernier phénomène se produisait seulement à basse température (12-15°C). A haute température la plumule se développerait en même temps que les racines. Une basse température du sol a stimulé la croissance des racines jusqu'à la montaison. Un bon développement racinaire entraîne de bons rendements.

11.3 La photopériode (20)

Le plus important facteur, affectant le développement subséquent de la jeune plante est le photopériodisme; la température étant reléguée au second plan. Le rendement en grain est augmenté par une photopériode courte au stade végétatif et par une photopériode longue par la suite. Toutes les variétés d'avoine avaient besoin de plus de 12 heures de lumière pour produire l'épiaison avant 90 jours (13). L'avoine a produit beaucoup plus d'épis lorsqu'elle était semée le premier mai que lorsqu'elle était semée plus tard en mai ou tôt en avril (24). Les journées longues ont réduit légèrement la longueur de la paille (24).

Toutes les informations recueillies indiquent que la croissance végétale des céréales profite des journées courtes. Au printemps, les journées se rallongeant jusqu'au 21 juin, il faut semer tôt la céréale afin que sa croissance végétative se fasse sous une courte photopériode.

11.4 Humidité du sol (20)

Les chercheurs ont noté que 70% des variations dans le rendement sont dues à l'humidité du sol. Ce facteur influence les composantes du rendement: le nombre d'épis par plante, le nombre de graines par épi. le poids de la graine. La période la plus critique est celle du tallage à l'épiaison. Une humidité basse à la surface du sol lors du murissement augmente les rendements. De plus, l'humidité du sol est importante pour la nutrition de la plante.

Le sol sèche à mesure que la saison avance. Il est évident qu'il faut semer les céréales tôt pour qu'elles profitent de l'eau dans le sol. Il y a toujours de l'eau dans le sol tôt au printemps mais on ne peut pas se fier sur la pluie.

11.5 Conclusion

Il est évident que les céréales exigent un semis hâtif afin de produire un bon rendement il faut donc préparer le sol pour rencontrer les exigences des céréales.

12. La date de semis

12.1 Les céréales et la température

Un semis tardif réduit le rendement et la qualité des céréales (Fig. 1). Même s'il fait encore frais dehors et dans le sol, les céréales germent à 3.3°C (Fig. 25). La germination prend un peu plus de temps (Fig. 26) à ces basses températures, mais le sol se réchauffe continuellement (Fig. 27).

12.2 La contradiction

En effet, le tracteur, pour avoir une bonne traction et un bon support, demande un sol assez sec, ce qui entraîne un semis plus tardif; par contre, les céréales exigent un sol humide et un semis hâtif. Puisque la préparation du sol est nécessaire, comment peut-on résoudre cette contradiction?

13. La préparation à l'automne

13.1 Préparation automnale vs printanière

Le labour et le disquage faits à l'automne (préparation faite à l'automne) suivis d'un hersage à ressorts au printemps ont produit un rendement aussi bon que celui obtenu par la méthode conventionnelle (Tab. 6). Il n'y a pas d'avantage à disquer au printemps en termes de rendement (sans parler du retard des semis) et un hersage léger suffit sur un sol préparé à l'automne (Tab. 18). Au printemps, il faut herser légèrement un sol préparé à l'automne afin de contrôler les mauvaises herbes (Tab. 14). Cette opération est aussi efficace que l'utilisation d'un herbicide.

13.2 Le disquage retarde les semis

En fait, c'est la herse à disques qui retarde les semis parce qu'il faut de la traction pour la tirer. De plus, le sol forme des mottes quand il est disqué trop humide. Il faut donc un sol plus sec, ce qui retarde les semis. Même si le disquage est accompli assez tôt, cette opération retarde les semis. S'il faut, une journée pour disquer au printemps et s'il pleut pendant 10 jours après, cette journée a coûté cher en perte de rendement. Chaque heure de semis vaut plusieurs centaines de dollars.

13.3 Préparation automnale: labour et disquage à l'automne, hersage au printemps

S'il faut disquer (voir section 9), il faut le faire à l'automne. La préparation du sol à l'automne comprend uniquement le labour et le disquage (si nécessaire) et diffère de la préparation d'un sol au printemps, effectué en vue d'un semis. Il faut laisser la surface du sol bien rugueuse plutôt qu'en mie. Un hersage léger (comme avec une herse à ressorts) au printemps suffit pour compléter la préparation.

13.4 Formation de mottes à l'automne

Le degré d'humidité n'est pas toujours propice pour disquer un sol et souvent le disquage à l'automne peut entraîner la formation de mottes. Cependant, les conditions climatiques qui prévalent en hiver, ont des effets sur le sol qui remédient au problème (section 6.32).

13.5 Propriétés du lit de semence produit

Un sol qui est préparé à l'automne sèche plus uniformément et une couche de 5 cm de sol sec est suffisante pour permettre un léger hersage et le semis. Egalement, un sol préparé à l'automne (labour et disquage (si nécessaire)) et hersage léger au printemps produit un lit de semence idéal (3.3) (Fig. 28). La surface est granulée, meuble, relativement sèche et permet un réchauffement rapide. La grossièreté des granules diminue en profondeur. Sauf dans la partie supérieure hersée (3 cm environ), le sol est ferme (non compact) et supporte bien le semoir. Les disques ne collent pas, les graines sont placées à une profondeur uniforme sur la couche humide et ne dépendent pas des pluies pour germer. La partie meuble en surface se réchauffe rapidement. La graine est alors chauffée par dessus et reçoit l'humidité du sol en profondeur. Les mauvaises herbes dans la partie hersée (donc plus sèche) germent moins vite que les graines de céréales qui sont favorisées par l'humidité provenant de la couche humide. Lorsque les céréales sont semées dans un bon lit de semence, les roues plombeuses ne sont pas nécessaires (voir section 8).

La préparation du sol (labour et disquage) à l'automne produit donc un meilleur lit de semence et favorise la germination des céréales.

14. Le drainage

14.1 Drainage souterrain

14.1.1 Effets sur le rendement

Présentement, on insiste beaucoup sur le drainage souterrain. Le drainage souterrain n'augmente pas nécessairement le rendement (Fig. 29). Plusieurs données démontrent que si le drainage peut parfois augmenter le rendement, il peut aussi le diminuer. En fait, la réponse réside dans le besoin du drainage. Un sol dont la nappe est très près de la surface exige d'être drainé, tandis qu'un sol dont la nappe n'approche jamais 0.5 m n'en a pas un grand besoin. Les céréales ne répondent pas à une baisse de la nappe de plus de 30 à 50 cm (26,27). Il ne faut pas oublier que la plante évapore 600 kg d'eau pour chaque kg de matière sèche. En fait, le drainage souterrain est plus nécessaire pour

faire circuler les machines au printemps et à l'automne, que pour les céréales.

14.1.2 Eaux de la fonte des neiges

Il est important de faire disparaître rapidement les eaux produites par la fonte des neiges afin de faire sécher le sol. Il n'est pas logique de faire disparaître cette eau par drainage souterrain (Fig. 31). Lorsque le sol est gelé, cela est plus difficile, car même si le drainage enlève l'eau de gravité, le sol reste encore saturé. Après la fonte des neiges et surtout lorsque le sous-sol est gelé, le sol devient sursaturé d'eau.

14.2 Drainage superficiel

Même si le drainage souterrain produit des bienfaits, le drainage superficiel, lui, est indispensable (Fig 30). Dans le cas des semis hâtifs, il importe de faire disparaître rapidement l'eau produite par la fonte des neiges et ceci ne pourrait se faire par le drainage souterrain (Fig. 30). Dans le cas du drainage superficiel, il faut niveler le terrain, enlever les bosses, remplir les trous (Fig. 30) et modeler le sol en planches (d'une trentaine de mètres de large). Il n'est pas nécessaire d'avoir une grande pente entre le haut de la planche et le fond des rigoles. Une inclinaison de 1% est suffisante si la surface du sol et celle du fond des rigoles est uniforme pour permettre à l'eau de s'écouler. Généralement, il faut reniveler le sol l'année suivante parce que le sol s'est tassé. De plus, il faut planifier les labours pour conserver la forme des planches en ouvrant une année et en fermant la suivante.

Le drainage souterrain n'est pas à négliger surtout quand la nappe d'eau monte près de la surface mais le drainage superficiel est indispensable pour faire disparaître l'eau produite par la fonte des neiges et pour hâter les semis des céréales.

15. La préparation et les méthodes de semis

15.1 Méthodes et préparation

La méthode de semis affecte la préparation du sol. Il est évident que toute préparation du sol est faite avant le passage du semoir conventionnel à disques et que le hersage se fait après un semis à la volée. Il n'y a pas d'avantage à semer par avion un sol très humide car les expériences ont démontré qu'il faut dans ce cas couvrir les graines. La date de semis est donc déterminée non pas par la machine qui est utilisée pour semer, mais par la date à laquelle le sol est assez sec pour pouvoir être légèrement hersé (voir section 12).

15.2 Semis en bande vs à la volée

Les résultats démontrent que le semis en bande produit un meilleur rendement, permet une meilleure économie, un meilleur placement et une meilleure distribution des graines; la germination est ainsi plus élevée et la répression des mauvaises herbes est meilleure (2). En fait, le semoir à disques est une machine de précision. Son défaut réside dans son manque de rapidité. Les semis à la volée sont plus rapides et donnent un rendement seulement un peu plus bas (Fig. 33). S'il y a de vastes superficies à semer, il vaut mieux opter pour un semis hâtif à la volée, que pour un semis de précision.

La méthode utilisée pour le semis détermine donc l'horaire des opérations de préparation du sol.

16. Conclusion

Les céréales ont besoin d'une préparation du sol, soit chimique, soit mécanique. Le degré de préparation dépend du degré d'enracinement de la couche supérieure du sol. Un retour de céréales ou de culture en rangs demande moins de préparation. La préparation primaire (généralement le labour) améliore la structure du sol (corrige le compactage) et détruit la végétation. La préparation secondaire (le hersage) nivèle le sol et contrôle les mauvaises herbes. Il faut réduire les opérations secondaires au minimum parce qu'elles détruisent la structure du sol et produisent le compactage. La préparation mécanique contrôle les mauvaises herbes à feuilles larges de façon plus sûre que les herbicides. Par contre le labour n'est pas toujours nécessaire lorsqu'on utilise le glyphosate pour contrôler les vivaces.

Il faut semer les céréales tôt au printemps pour obtenir un bon rendement de qualité. En fait, c'est la date à laquelle le sol est assez sec pour être préparé qui détermine la date de semis. La herse à ressorts permet un semis plus hâtif au printemps que celle à disque. Un hersage léger est nécessaire pour contrôler les mauvaises herbes et préparer un bon lit de semence. La herse à disques ne permet pas la préparation d'un bon lit de semence et s'il faut un hersage à disques, il est préférable de le faire à l'automne. La herse à disques est nécessaire seulement dans le cas d'une tourbe bien enracinée ou d'un sol lourd.

Le sol doit être préparé de façon à permettre un semis hâtif et doit produire un bon lit de semence c'est à dire 3 cm de sol meuble en surface sur un fond ferme. Il faut faire preuve de discernement pour choisir la méthode de préparation du sol qui peut amener ces résultats.

17. BIBLIOGRAPHIE

1. Baeumer, K. and W.A.P. Bakermans. 1973. Zero-tillage. Adv. Agron. 25: 77-123

2. Barnett, G.M. and J.E. Comeau. 1980. Seeding cereals by air and ground. Can. J. Plant Sci. 60: 1147-1155.

3. Barnett, G.M., R. Rioux et J.E. Comeau. 1970-74. (Résultats non publiés)

4. Baver, L.D. 1963. Soil Physics. 3rd ed. John Wiley & Sons Inc., New York. 489 pp.

5. Buckman, H.O. and N.C. Brady. 1969. The nature and properties of soils. 7th edition. The Macmillan Co., New York. 653 pp.

6. Canarache, A. 1979. Changes in the physical properties of soils as affected by various management practices. p. 51-56. In Proc. of the Int. Soil Tillage Research Organization, ISTRO (8th Conference) 1979, University of Hohenheim. Vol. 1.

7. Cannell, R.Q., M.J. Goss and F.B. Ellis. 1979. The suitability of clay soils in England for growing winter cereals after direct drilling or shallow cultivation. p. 185-190. In Proc. of the Int. Soil Tillage Research Organization, ISTRO (8th Conference) 1979, University of Hohenheim. Vol. 1.

8. Coffman, F.A. and K.J. Frey. 1961. Influence of climate and physiologic factors on growth in oats. In F.A. Coffman (ed.) Oats and oat improvement. Agronomy 8: 420-464. Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.

9. Grevers, M.C.J. and A.A. Bomke. 1979. An evaluation of four tillage systems on Pineview clay, a fine textured soil in the central interior of British Columbia. p. 285-296. In Proc. of the Int. Soil Tillage Research Organization, ISTRO (8th Conference) 1979, University of Hohenheim. Vol. 2.

10. Hansen, L. and K.J. Rasmussen. 1979. Reduced cultivation for spring barley in Denmark. p. 205-210. In Proc. of the Int. Soil Tillage Research Organization, ISTRO (8th Conference) 1979, University of Hohenheim. Vol. 2.

11. Hoag, B.K. and G.N. Geiszler. 1973. Very early seeding of wheat and barley. Farm Research, March-April: 32-34.

12. Henriksson, L. 1979. Implements for seedbed preparation, an approach in performance studies. p. 137-142. In Proc. of the Int. Soil Tillage Research Organization, ISTRO (8th Conference) 1979, University of Hohenheim. Vol. 1.

13. Leonard, W.H. and J.H. Martin. 1963. Cereal crops. The Macmillan Co., New York. 824 pp.

14. Lutz, J.F. 1952. Mechanical impedance and plant growth. In B.J. Shaw (ed.) Soil physical conditions and plant growth. Agronomy 2: 43-71. Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.

15. McKyes, E. 1976. Le compactage du sol. p. 127-132. In Rapport de l'Assemblée générale du CPVQ, Château Frontenac, 2 novembre 1976.

16. McGill, K.S. 1978. A compilation of a) currently applicable regulations and recommended guidelines: and b) of readily accessible data and results of research, investigations, and studies into the effects of animal manurial wastes to agriculturally cropped land. p. 46-73. In F.R. Hore and R.L. Halstead (eds) Proc. of the Work Planning Meeting on Land Application of Manure, Ottawa, Ont., Dec. 5-6, 1978. Engineering and Statistical Research Institute Report 1-64.

17. McKyes, E. 1974. Influence de la circulation des machines agricoles sur le compactage du sol. p. 227-240. In Toujours de l'avant. La semaine du cultivateur 1974, Région agricole du Richelieu, no 6, St-Hyacinthe.

18. Melsted, S.W. 1954. New concepts of management of corn belt soils. Adv. Agron. 6: 121-142.

19. Njos, A. 1979. Aggregate size distribution in the seed bed: Effects on soil temperature, matric suction, and emergence of barley (Hordeum vulgare L.). - A review of some research on clayey soils in South Eastern Norway. p. 121-129. In Proc. of the Int. Soil Tillage Research Organization, ISTRO (8th Conference) 1979, University of Hohenheim. Vol. 1.

20. Rioux, R. 1972. Physiologie des céréales (Document photocopié)

21. Rioux, R. 1974. Discussions générales sur le désherbage chimique et la physiologie des désherbants. (Rapport photocopié).

22. Russell, E.W. 1961. Soil conditions and plant growth. 9th edition. Jarrold and Sons Ltd., London. 688 pp.

23. Salmon, S.C., O.R. Mathews and R.W. Leukel. 1953. A half century of wheat improvement in the United States. Adv. Agron. 5: 1-151.

24. Shands, H.L. and W.H. Chapman. 1961. Culture and production of oats in North America. In F.A. Coffman (ed.) Oats and oat improvement. Agronomy 8: 465-529. Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.

25. Whitney, M. 1925. Soil and civilization. D. Van Nostrand Co., New York. 278 pp.

26. van't Woudt, B.D. and R.M. Hagan. 1967. III Crop responses at excessively high soil moisture levels. In J.N. Luthin (ed.) Drainage of agricultural lands. Agronomy 7: 514-578. Am. oc. of Agron., Madison, Wis.

27. Wesseling, J. 1974. Crop growth and wet soils. In J. van Schilfgaarde (ed.) Drainage for agriculture. Agronomy 17: 7-37. An. Soc. Agron., Madison, Wis.

28. Schlehuber, A.M. and B.B. Tucker. 1967. Culture of wheat. In K.S. Quisenberry (ed.) Wheat and Wheat improvement. Agronomy 13: 117-179. Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.

29. Vez, A. 1979. Soil tillage in a long term wheat monoculture: Incidence on soil, physical soil properties, plant diseases, weeds infestations and wheat yields. p. 263-270. In Proc. of the Int. Soil Tillage Research Organization, ISTRO (8th Conference) 1979, University of Hohenheim. Vol. 2.

30. Yoder, R.E. 1937. The significance of soil structure in relation to the tilth problem. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 2: 21-33.

Tableau 1 - Effet de la grosseur des granules de sol sur la croissance du blé

Paramètre	Diamètre des granules de sol mm				
	100%	60%	30%	100%	100%
	<0.05	0-0.5	0-0.5	1-2	2-3
Hauteur (cm)	47	57	57	67	60
Rendement total relatif	33.3	53.4	61.8	100	93.7
Rendement du grain relatif	23.6	51.9	62.7	100	95.2
Coefficient de transpiration relatif	129	112.5	114.3	100	103.5

(14) Lutz (1952)

Tableau 2 - Effet de la grosseur des granules de sol sur la croissance du millet

Paramètre	Diamètre des granules de sol mm				
	60% 0-1 & 40% 2-3	30% 0-1 & 70% 2-3	15% 0-1 & 85% 2-3	100% 2-3	100% 5-7
Jours à maturité	99	97	95	93	91
Hauteur (cm)	46.3	51.1	53.0	64.6	57.2
Rendement du grain (g)	5.01	7.50	9.35	14.65	11.86
Paille	8.99	10.90	12.05	15.56	13.64
Racines (g)	2.27	2.79	3.18	4.09	3.79
% grain	20.8	35.2	38.6	42.4	40.5

(14) Lutz (1952)

Tableau 3 - Effet de la méthode de préparation d'un sol argileux sur le rendement du blé d'hiver

Année	Rendement du grain t/ha				
	Sol A			Sol B	
	Semé directement	Hersé légèrement	Labouré	Semé directement	Labouré
1976 (sec)	5.5	5.2	4.8	6.4	5.8
1978 N bas	8.6	8.3	9.3	7.5	9.0
(humide) N élevé	10.5	10.2	10.2	9.4	10.0

(7) Cannell, Goss et Ellis (1979)

Tableau 4 - **Effet de la méthode de préparation du sol sur le le rendement de l'ensilage d'orge**

Préparation	Rendement de l'ensilage t/ha			
	Taux de N kg/ha			
	0	56	112	168
Labour (charrue) (L)	17.1	19.9	21.9	20.3
L + rotovateur	10.5	15.6	15.6	15.6
Labour (chisel) (C)	9.7	11.2	11.6	15.6
C + rotovateur	10.5	12.0	13.1	12.1

(9) Grevers et Bomke (1979)

Tableau 5 - Effet de la préparation du sol sur le rendement du grain d'orge

Préparation	Rendement du grain q/ha			
	Type de sol			
	Sable	Sable Loameux	Loam limoneux	Moyennes
Labour 20 cm	31.0	42.8	49.8	39.3
Labour 12 cm	30.2	41.6	50.7	38.8
Rotovateur 6-8 cm	30.3	39.8	50.6	38.2
	Rendement relatif (5ans)			
Labour 20 cm	100	100	100	
Herse 10 cm	98	89	98	
Rotovateur 5 cm	96	85	98	

(10) Hansen et Rasmussen (1979)

Tableau 6 - Effet de la préparation du sol sur le rendement du grain d'orge (sur retour de céréales)

Préparation	Grain kg/ha	
	Type de sol	
	Argile Kamouraska	Loam graveleux St-André
Aucune préparation	617 c	0 b
Lab. aut., herse aut.	2214 b	1983 a
Lab. aut., herse aut. herse pr.	3383 a	2595 a
Lab. aut., herse pr.	3494 a	2591 a
Lab. pr., herse pr.	3449 a	1984 a

(3) Barnett, Rioux et Comeau

Tableau 7 - Effet de la préparation du sol sur les propriétés physiques du sol

	Préparation				
	Charrue à versoir (C)	C et rotovation	"Chisel plough"(CP)	CP et rotovateur	LSD 0.05
Porosité d'aération					
(PF 1.8) 11 mai	20.4	15.6	10.0	9.1	4.0
14 août	22.3	20.7	15.0	15.8	4.1
Densité apparente kg/m^3					
11 mai	897	903	1027	1090	53
14 août	897	907	980	1000	52

(9) Grevers et Bomke (1979)

Tableau 8 - Effet de la grosseur des agrégats (en couche de 3 cm) sur la température du sol

Grosseur (mm)		Température °C	
		5 cm	10 cm
> 20		27.9	24.2
20 - 6		28.3	25.0
6 - 2		29.6	26.3
2 - 0.6		31.6	26.7
< 0.6		30.0	26.3
6 - 0.6		30.8	26.3
Température de l'air à 2 m	30.4		
à 0.2 m	38.8		

(19) Njos (1979)

Tableau 9 - Effet de la préparation du sol sur le rendement du grain du blé d'hiver

Préparation	Rendement du grain t/ha — Taux de N kg/ha: 0	Rendement du grain t/ha — Taux de N kg/ha: 150
Travaillé	3.1	4.5
No-Till	2.2	3.8

(1) Baeumer et Bakermans (1973)

Tableau 10 - Effet de la préparation du sol et de la monoculture sur les graines de mauvaises herbes

Préparation	Rotation	No. de graines/m^2 en profondeurs: 0 - 5	5 - 10	10 cm	No. d'espèces importantes
No-till	monoculture	347	903	764	8
	rotation	1250	1944	1597	15
Labour	monoculture	694	1180	1458	13
	rotation	625	1208	2499	17

(29) Vez (1979)

Tableau 11 - Effet de la méthode de préparation du sol sur la porosité après 7 ans

Méthode	Porosité %	
	Total	Air
Labour, herse	56.3	25.9
Labour	56.0	24.9
Rotovation	56.9	24.2
Travail sous surface	54.8	19.2
Travail sous surface seule	49.1	14.2
Labour, herse, paille	55.8	26.9

(5) Buckman et Brady (1969)

Tableau 12 - Effet du temps et des modes de labour sur la population de mauvaises herbes et sur le rendement du blé

Traitement	Mauvaises herbes/m^2		Rendement de blé kg/ha
	annuelles	Chiendent	
Demi-jachère	18.2	0	2063
Labour 10 cm en août et disque	17.0	2.1	1902
Labour 18 cm 15 sept.	20.1	5.9	1525
Labour 18 cm 15 oct.	35.8	8.3	1324
Labour 10 cm 15 oct.	19.2	11.3	1458
Labour 18 cm printemps	28.7	18.1	1284

Demi-jachère: labour 10 cm en août, disqué jusqu'à l'automne et second labour de 18 cm au 15 octobre.

(21) Rioux (1974)

Tableau 13 - Effet de la méthode de préparation d'un retour de céréales sur le rendement du grain d'orge (3[e] année)

Préparation	Grain kg/ha	
	Argile Kamouraska	Loam graveleux St-André
Labouré, disqué, hersé à l'automne	1846	1305
Disqué, seulement à l'automne	1275	22
Labouré et disqué à l'automne, herse printemps	2520	2113
Roundup et disquage automne	2334	1634

(3) Barnett, Rioux et Comeau

Tableau 14 - Effet de la méthode de préparation d'un retour de céréales sur le chiendent dans l'orge (3[e] année)

Préparation	Plantes/m^2	
	Argile Kamouraska	Loam graveleux St-André
Labouré, disqué et hersé à l'automne	40.0	83.5
Disqué seulement à l'automne	60.5	272.6
Labouré et disqué à l'automne hersé printemps	2.3	26.7
Roundup et disquage automne	1.8	26.0

(3) Barnett, Rioux et Comeau

Tableau 15 - Effet de la condition de la surface du sol sur le ruissellement et l'érosion

Traitement de surface	Pertes cumulatives à la fin de (min)							
	10		20		30		40	
	Sol kg	Eau %	Sol kg	Eau %	Sol kg	Eau %	Sol kg	Eau %
Normal	0.09	3.6	0.49	30.3	1.10	45.3	3.45	65.3
Pulvérisé sec	0.00	0	0.05	9.1	0.22	20.9	1.29	42.6
Sec et dur	0.84	41.2	2.49	63.2	2.95	72.7	7.57	83.6
Rugueux	0.00	0	0.00	0	0.09	4.0	1.70	39.3

(4) Cité par Baver (1963)

Tableau 16 - Influence du temps de labour et du hersage sur les mauvaises herbes annuelles dans l'orge à La Pocatière (retour de céréales)

Traitement	Mauvaises herbes/m^2		
	Graminées	Chou gras	Renoué liseron
Labour aut., herse aut.	52.7	138.8	30.1
Labour aut., herse pr.	7.5	93.6	6.4
Labour aut., herse aut. & pr.	16.1	59.2	8.6
Labour pr., herse pr.	29.1	95.8	4.3

(3) Barnett, Rioux et Comeau

Tableau 17 - Effet du hersage sur l'humidité du sol

Date	Humidité du sol %			
	Mauvaises herbes	Cultivé 7.6 cm	Cultivé 15.2 cm	Surface nu M.H.enlevés
13 avr - 2 nov	16.16	19.52	18.08	18.98
changement	-7.28	-3.31	-1.86	-0.89
15 avr - 8 sept	22.50	23.40	22.90	22.40
changement	-1.20	+0.70	-0.05	-0.70
29 mai - 23 sept	15.94	19.09	16.49	18.14
changement	-6.65	-2.39	-1.19	-2.50

(4) Cité par Baver (1963)

Tableau 18 - Effet du hersage sur le rendement d'orge (retour de céréales)

Hersage	Rendement kg/ha	
	Type de sol	
	Argile Kamouraska	Loam graveleux St-André
Herse à ressort	4201 a	1689 a
Disque, herse à dents	4200 a	1772 a
Disque	4349 a	1575 a
Rotovateur tracteur	4356 a	1676 a
Rotovateur jardin	4078 a	1734 a

(3) Barnett, Rioux et Comeau

Tableau 19 - Effet du modèle de herse sur le sol et sur les céréales

Essai herse		Profondeur cm	Humidité %	Rendement grain kg/ha
1.	A	4.8 ± .70	11.5 ± 1.56	3560
	B	5.7 ± .55	13.1 ± 1.31	3590
2.	C	4.8 ± .66	17.0 ± 2.16	6590
	D	3.9 ± .57	14.6 ± 1.75	6580
3.	E	5.7 ± .60	10.1 ± 0.92	4770
	F	2.7 ± .51	7.6 ± 1.20	4700

(12) Hendricksson (1979)
A-F = marques non identifiées

Tableau 20 - Effet des rotations sur l'azote dans le sol

Rotation	N dans le sol kg/ha			Rendement maïs kg/ha
	1904	1943	Perte	
Maïs en monoculture	4301	3024	1277	1568
Maïs - avoine	4805	3786	1019	2132
Maïs - avoine - légumineuse	5858	4525	1333	3324

(18) Melsted (1954)

Tableau 21 - Effet des méthodes de préparation du sol sur le rendement du maïs-grain (retour de foin)

Méthode	Rendement de maïs kg/ha	
	5 champs sur loam limoneux	21 champs
Labouré	5369	4760
Cultivateur (patte d'oie)	5143	4390
Disqué	4760	4303

(4) dans Baver (1963)

Tableau 22 - Effet des méthodes de préparation du sol sur le rendement du maïs et les propriétés du sol (retour de foin)

Méthode	Rendement kg/ha	Porosité non-capillaire %	Compaction relative
labour, disqué (standard	2929	25.9	100
Labour, semis direct sur sillon	2960	24.9	101
Rotovateur	2640	24.2	132
Surface cultivée, maïs semé dans déchets	2452	19.2	183
Disqué ou rotovaté en surface	2164	14.2	180
Labour, disque, paille	3167	26.9	91

(4) dans Baver (1963)

Tableau 23 - Effet de trois systèmes de culture sur la structure du sol

Culture	% Carbone	% agrégats (mm)		
		2 - 0.25	0.25 - 0.1	0.1
Monoculture de coton	0.52	2.23	12.10	85.67
3 ans luzerne	0.80	15.01	49.51	34.58
5 ans luzerne	0.92	27.32	47.35	25.33

(4) dans Baver (1963)

Tableau 24 - Effet de la préparation du sol sur la structure du sol

Préparation	% agrégats			
	>5 mm		⩽0.25 mm	
	15 bar*	0.3 bar	15 bar	0.3 bar
Avant labour	48	13	22	40
2 labours + 4 disquages	54	44	19	24
2 labours + 20 disquages	39	30	28	31

* Humidité du sol

(4) dans Baver (1963)

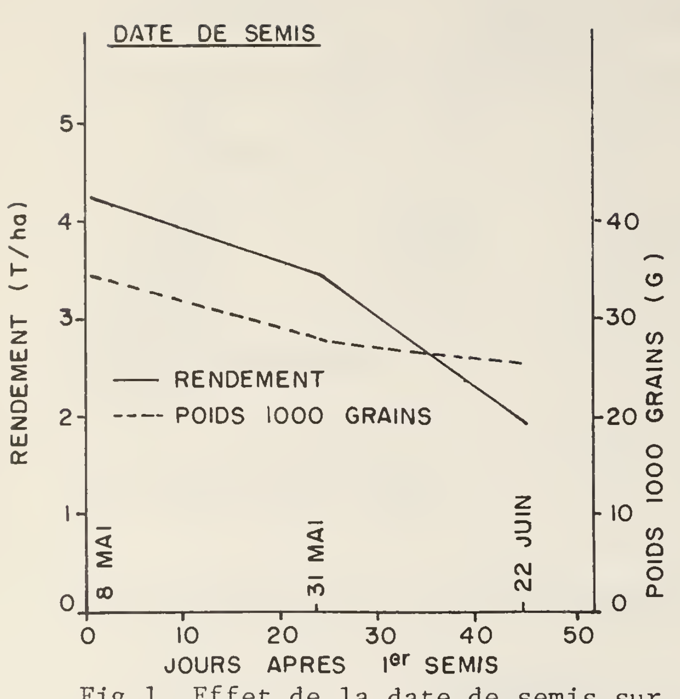


Fig.1 Effet de la date de semis sur le rendement et le poids 1000 grains d'orge (3) Barnett, Rioux, Comeau.

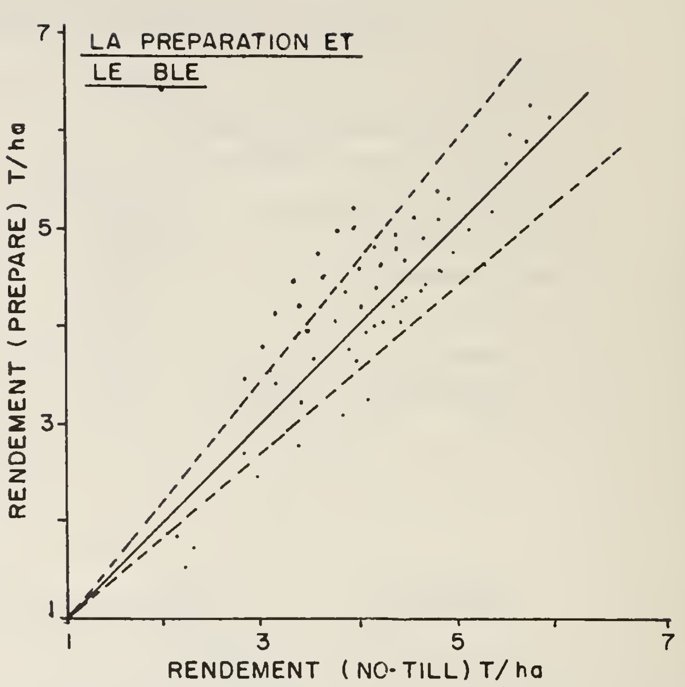


Fig.2 Le rendement du blé sur sol préparé vs no-till (SD = ···)
(1) dans Beaumer et Bakermans

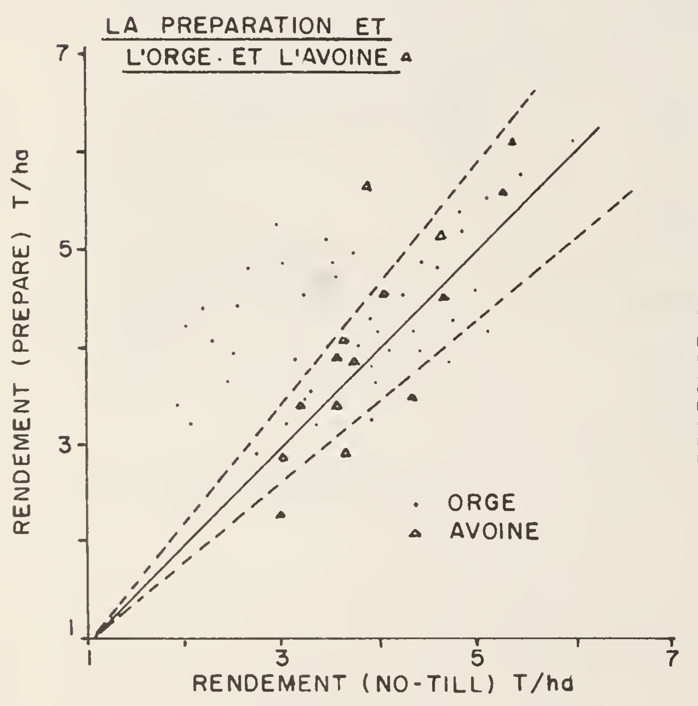


Fig.3 Le rendement d'orge et d'avoine sur sol préparé vs no-till (semis direct)
(1) dans Beaumer et Bakermans

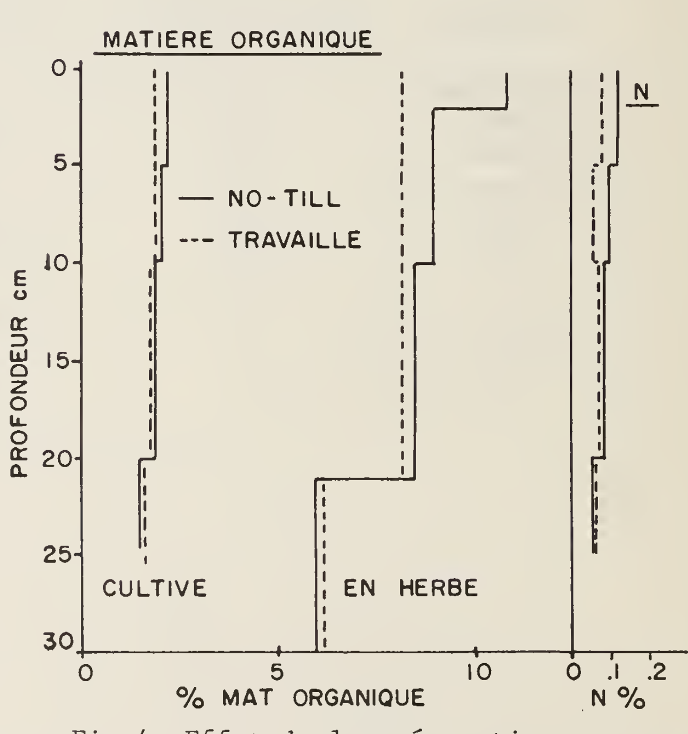


Fig.4 Effet de la préparation du sol sur la matière organique et le N dans le sol (1) dans Beaumer et Bakermans

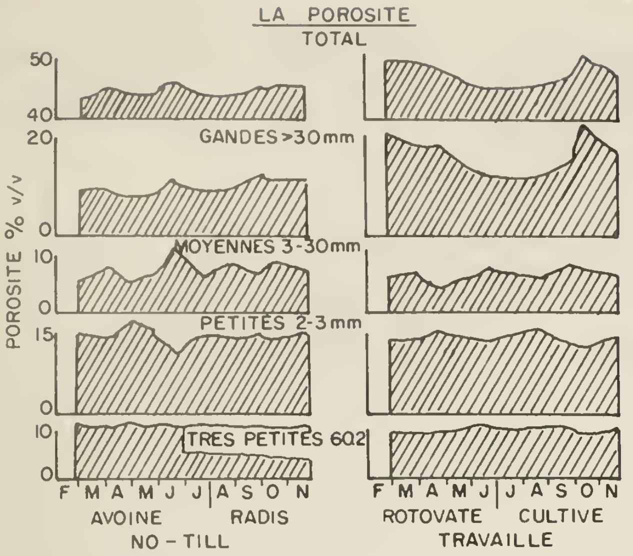


Fig. 5. Variations de porosité selon les mois (2-6 cm) sur le sol no-till et sur le sol travaillé
(1) dans Beaumer & Bakermans

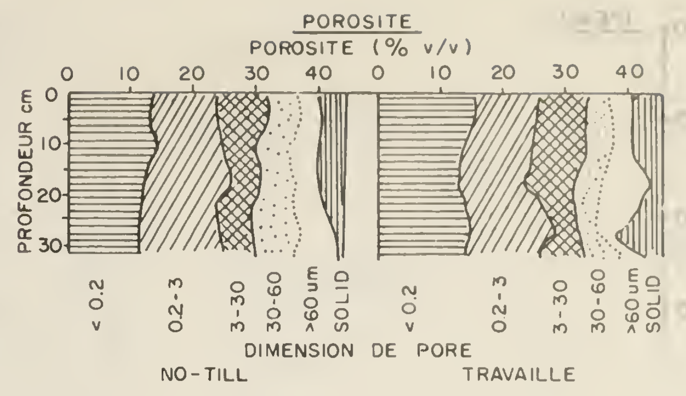


Fig. 6. La porosité du sol sur le sol travaillé et no-till (notez que la semelle de labour est à 25 cm (à droite)
(1) dans Beaumer & Bakermans

COULOIRS A VERS

PROFONDEUR (cm)

0
20
40
60
80
100

— NO-TILL
---- TRAVAILLE

0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0
POROSITE (% v/v)

Fig. 7. La préparation du sol réduit les couloirs de vers de terre
(1) dans Beaumer & Bakermans

L'EAU

0 200 400 600 800
-400 -200 0 +200
30 20 10

PROFONDEUR (cm)

4-8-71
6-7-71
6-10-71
6-21-71

POTENTIEL CAPILLAIRE cm (eau) ψ
CHARGE HYDRAULIQUE cm eau ϕ
TENEUR en EAU % (% w/w)

Fig. 8. La conductivité d'eau est plus grande (ch. hyd.) et l'eau est plus assimilable (pot.-cap.) sur sol non-travaillé
... Sol travaillé
___ Sol non-travaillé

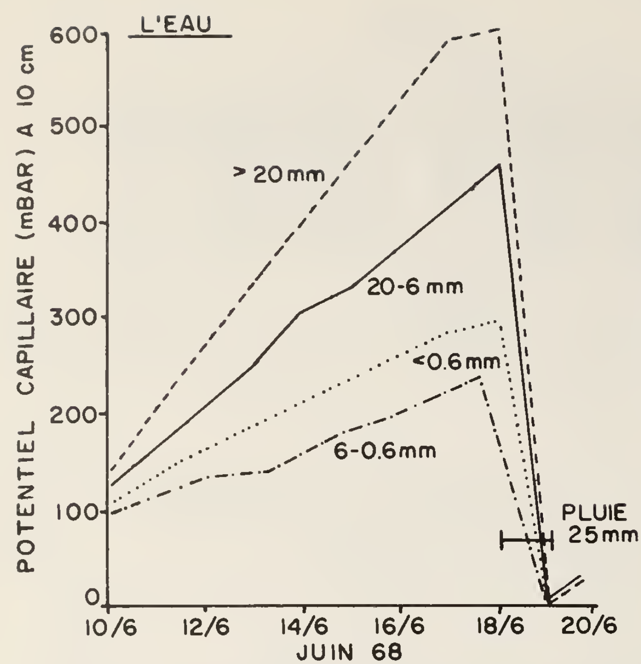


Fig.9 Effet de la grosseur d'agrégats (couche de 3 cm) sur l'eau capillaire
(19) N jos

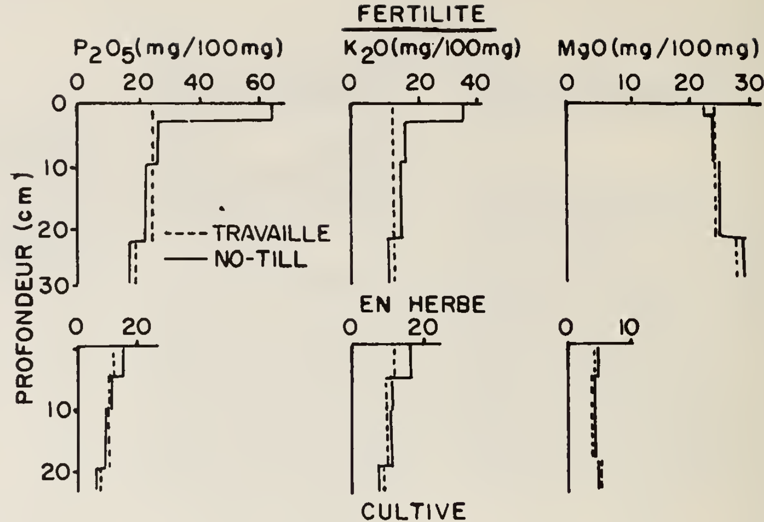


Fig.10 Le travail du sol distribue les éléments plus également dans le profil
(1) dans Baeumer & Bakermans

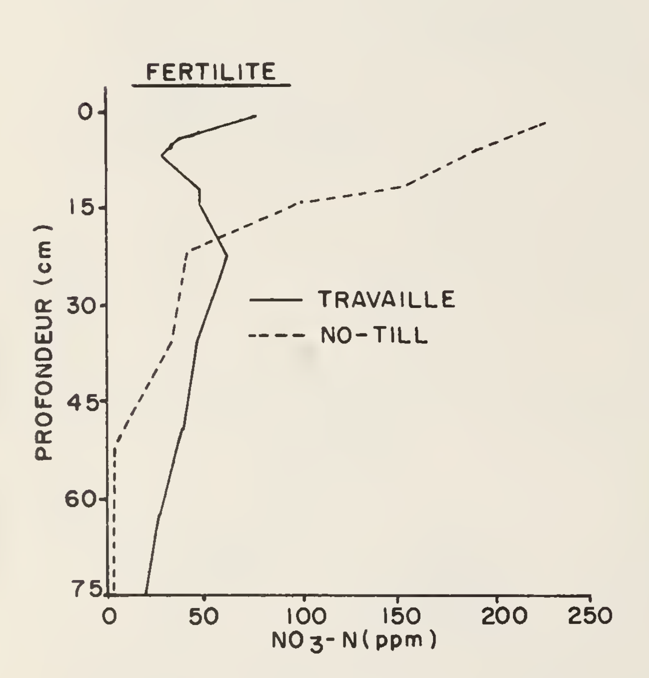


Fig.11 Le travail du sol distribue le nitrate plus également dans le profil
(1) dans Baeumer & Bakermans

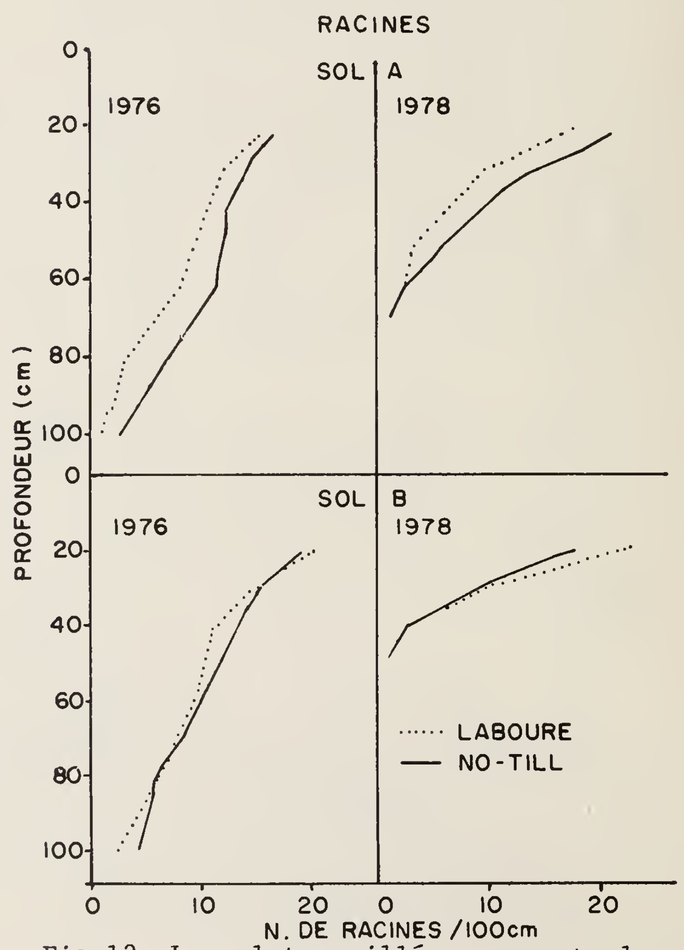


Fig.12 Le sol travaillé a souvent plus de racines que le sol no-till
(7) Cannell et al

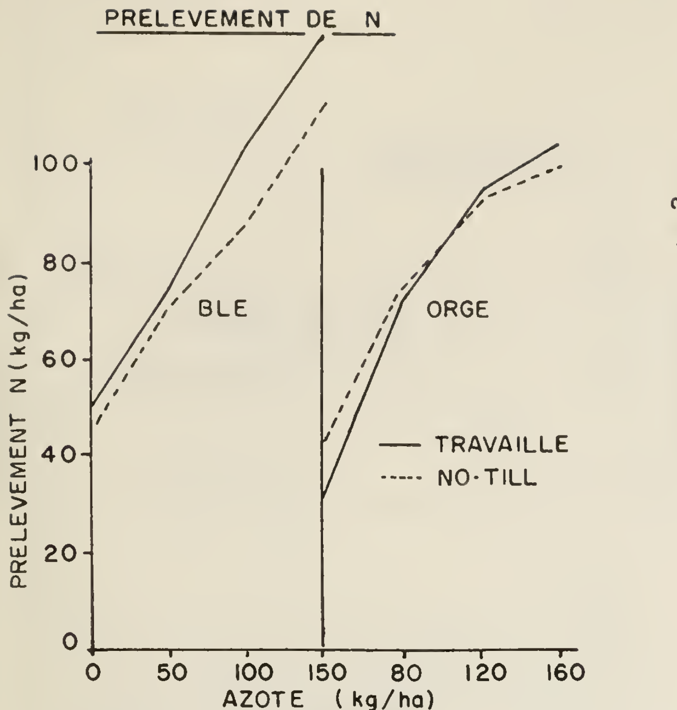


Fig.13 L'azote est aussi assimilable sur sols no-till
(1) dans Baeumer & Bakermans

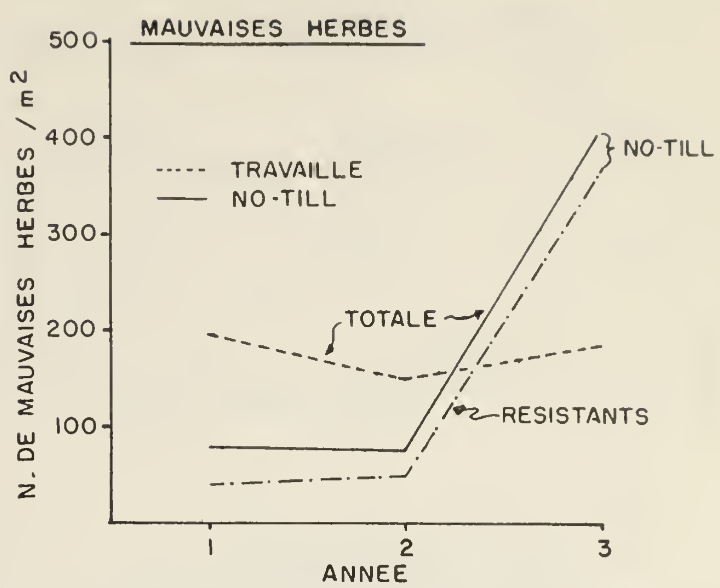


Fig.14 Les mauvaises herbes annuelles diminuent sur le no-till
(1) dans Baeumer & Bakermans

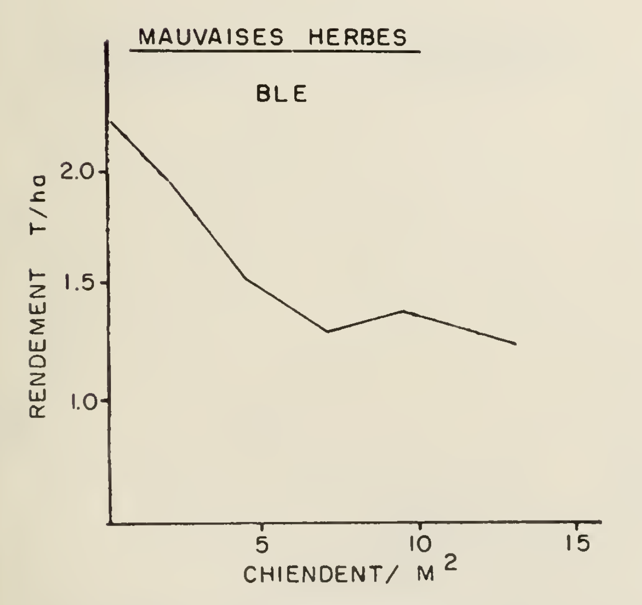


Fig.15 Les mauvaises herbes réduisent le rendement
(21) Godbout (dans Rioux)

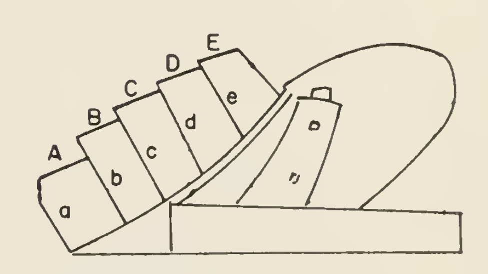


Fig.16 L'action d'une charrue sur le sol
(4) dans Baver

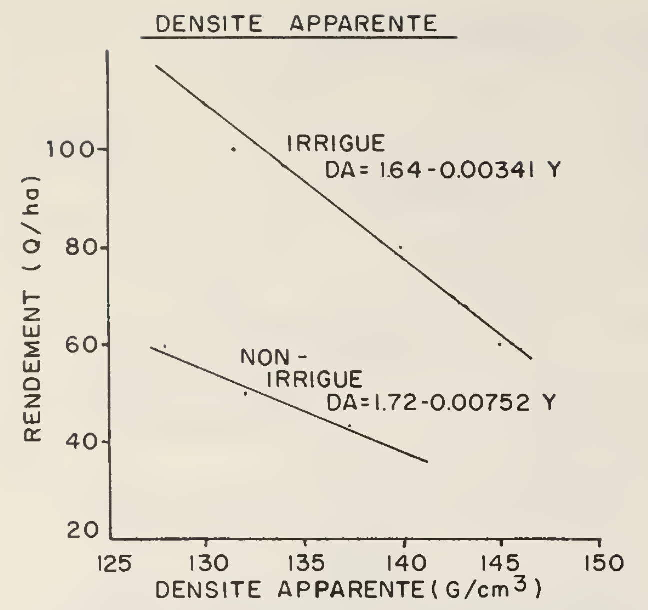


Fig.17 Les rendements de maïs diminuent quand la densité apparente du sol augmente
(6) Canarche

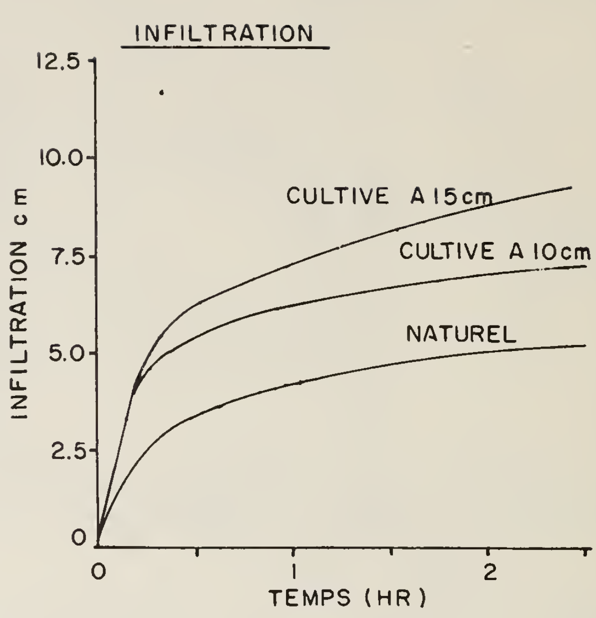


Fig.18 La culture augmente l'infiltration de l'eau
(4) dans Baver

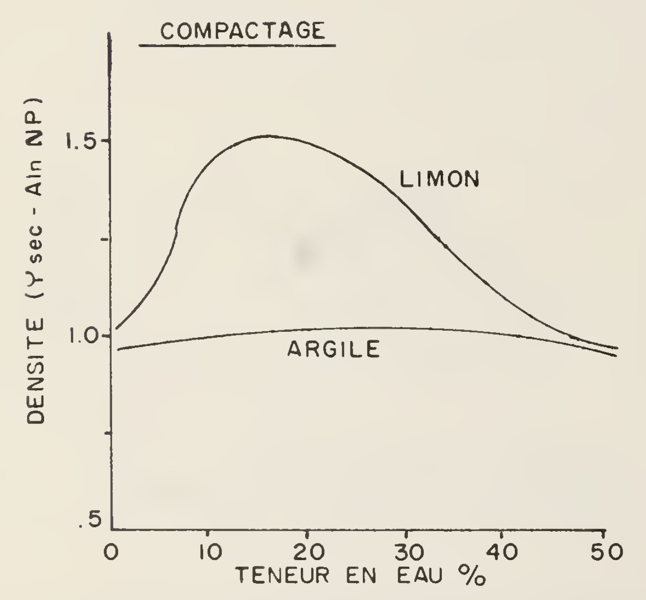


Fig.19 La pression de contact P, le nombre de passages N et la teneur en eau augmente le compactage
(16) McKyes

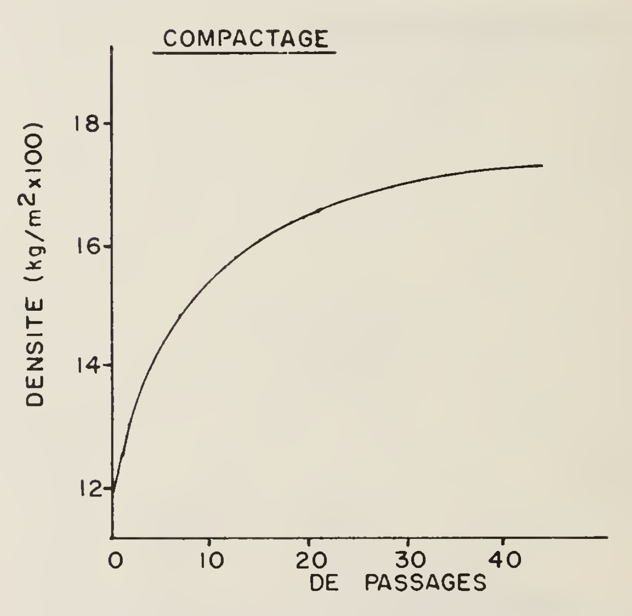


Fig.20 Le nombre de passages augmente le compactage
(17) McKyes

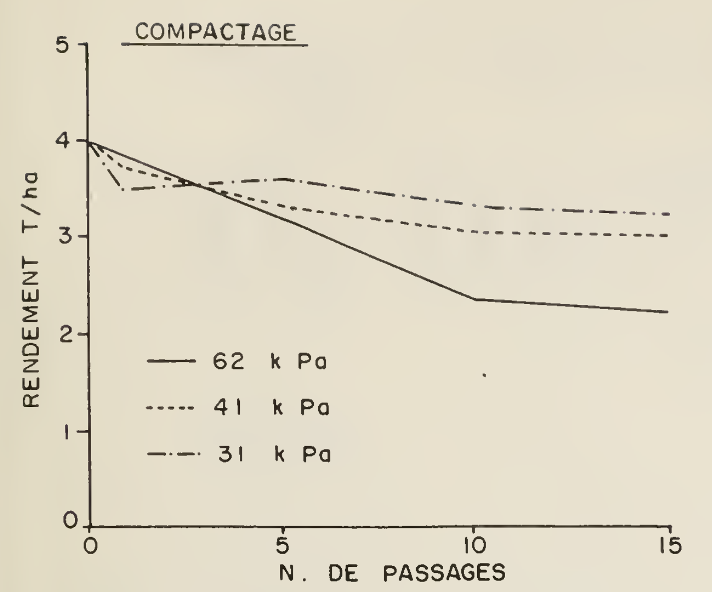


Fig. 21. Le compactage du sol diminue le rendement du maïs
(16) McKyes

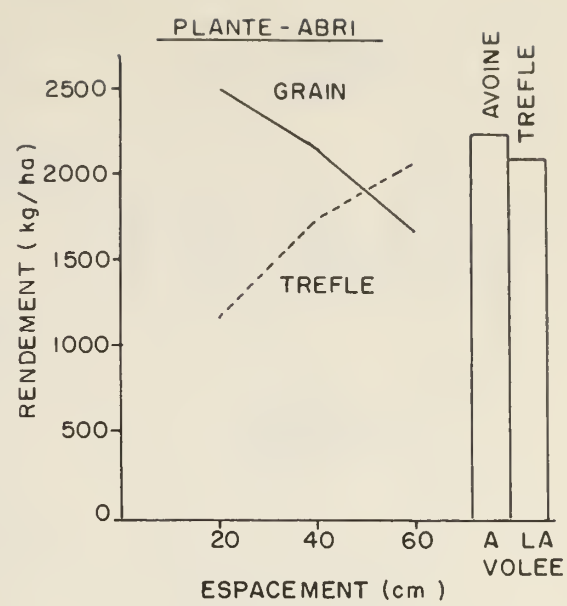


Fig. 22. La plante-abri réduit l'établissement de la plante fourragère et de la céréale.
(24) Shands et Chapman

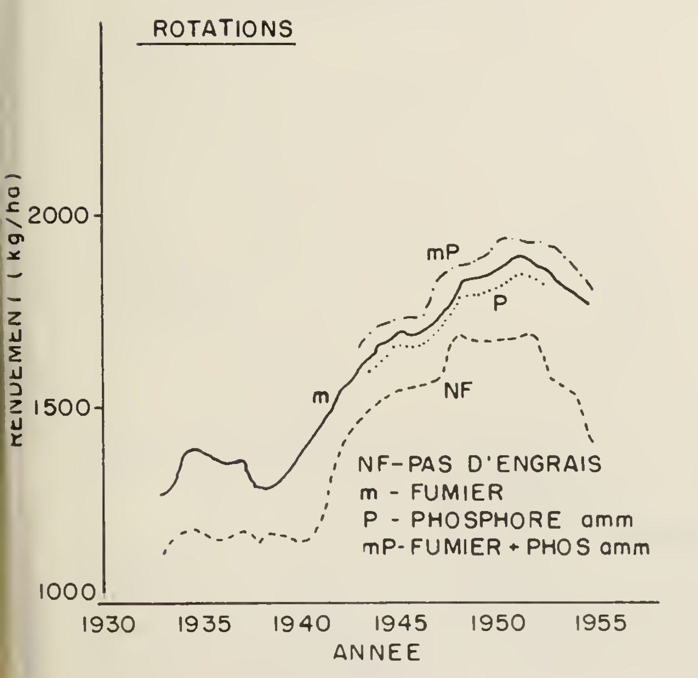


Fig. 23. Rendement du blé dans une rotation jachère-blé-blé
(15) McGill

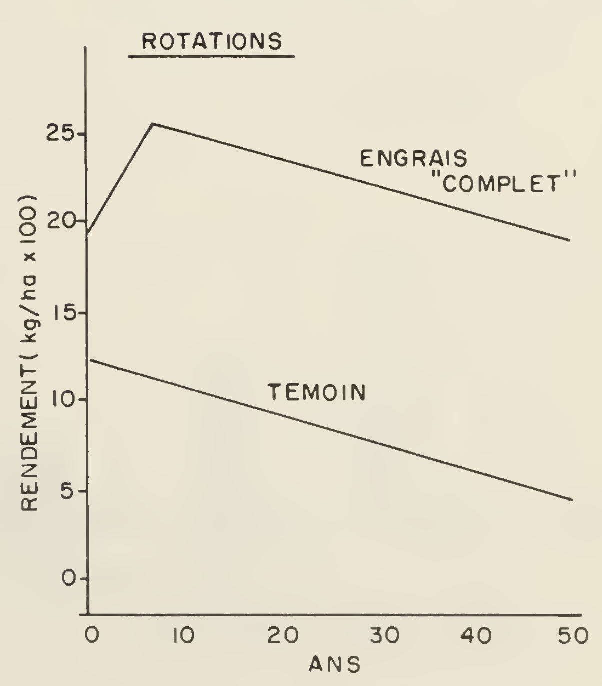


Fig. 24. Les rendements d'orge en monoculture ont baissé
(25) Whitney

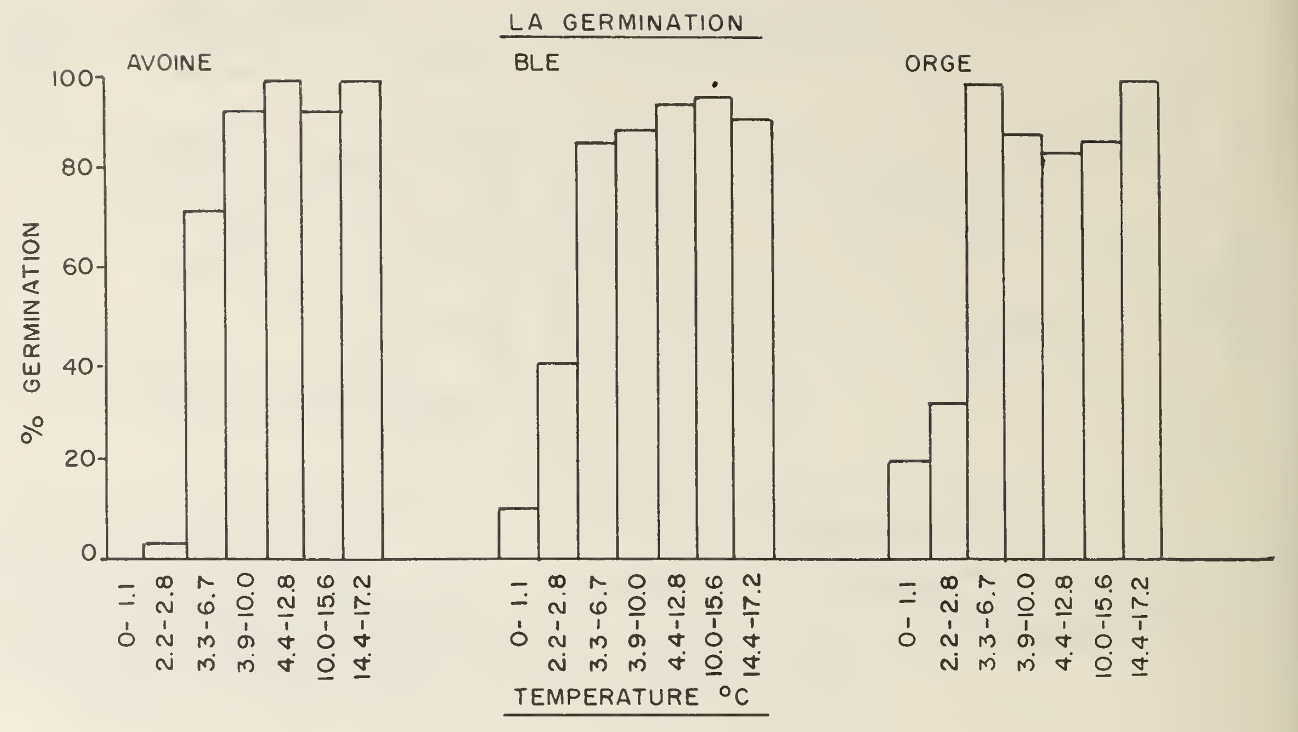


Fig. 25. Les céréales germent à 3.3°C
(8) Coffman et Frey

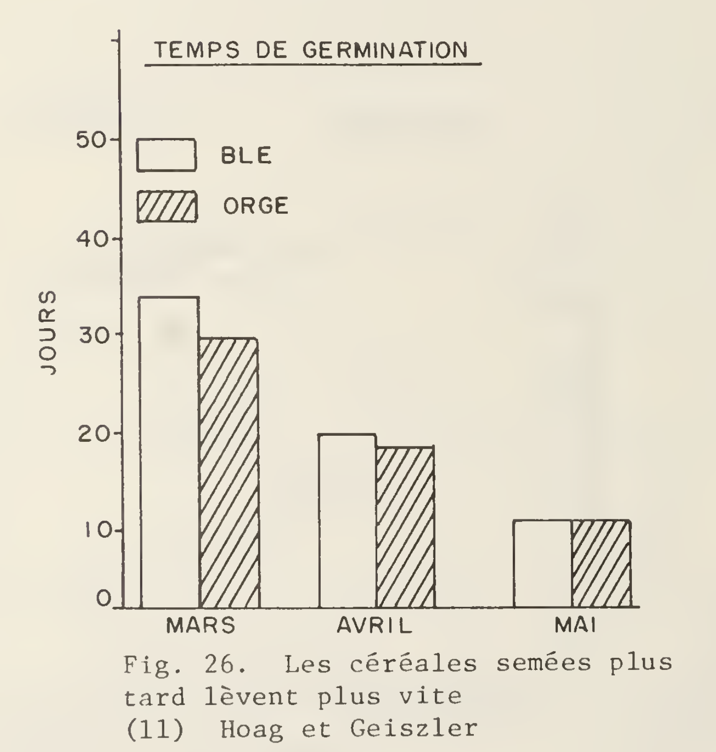


Fig. 26. Les céréales semées plus tard lèvent plus vite
(11) Hoag et Geiszler

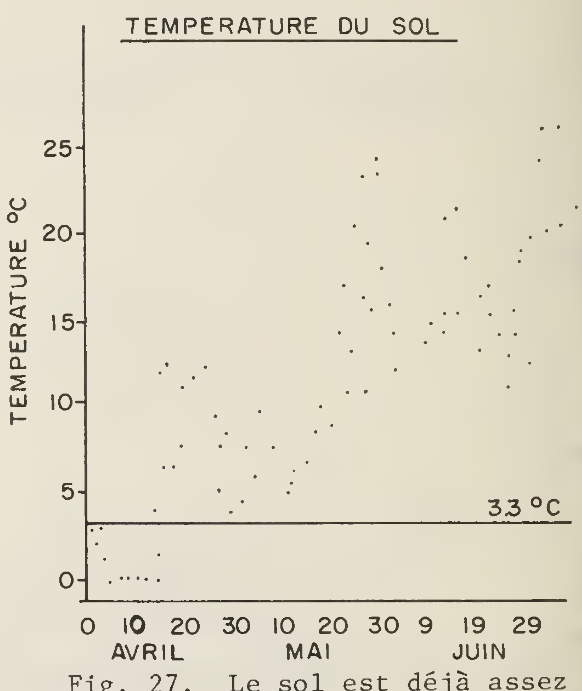


Fig. 27. Le sol est déjà assez cha
pour la germination des céréales le
20 avril (La Pocatière, 1977)
(3) Barnett, Rioux et Comeau

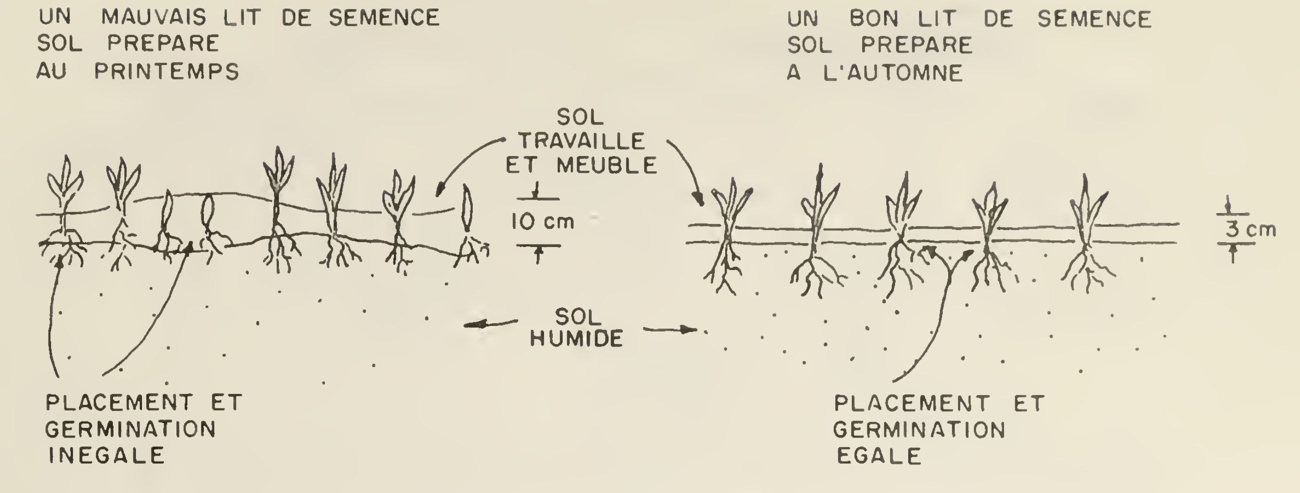


Fig.28 Un bon lit de semence a environ 3 cm de mie au dessus d'un fond ferme
Barnett

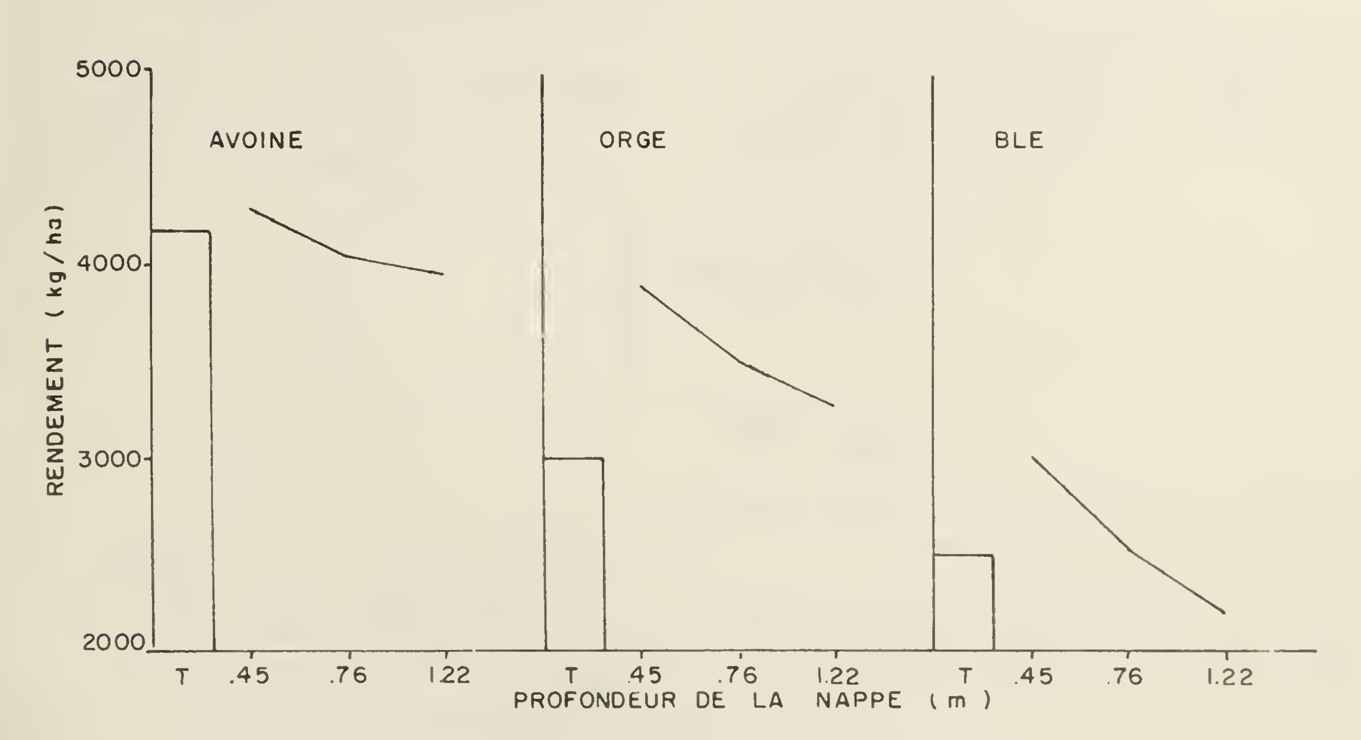


Fig.29 La baisse de la nappe d'eau n'augmente pas nécessairement le rendement des céréales
(T = témoin, nappe naturelle)
Barnett

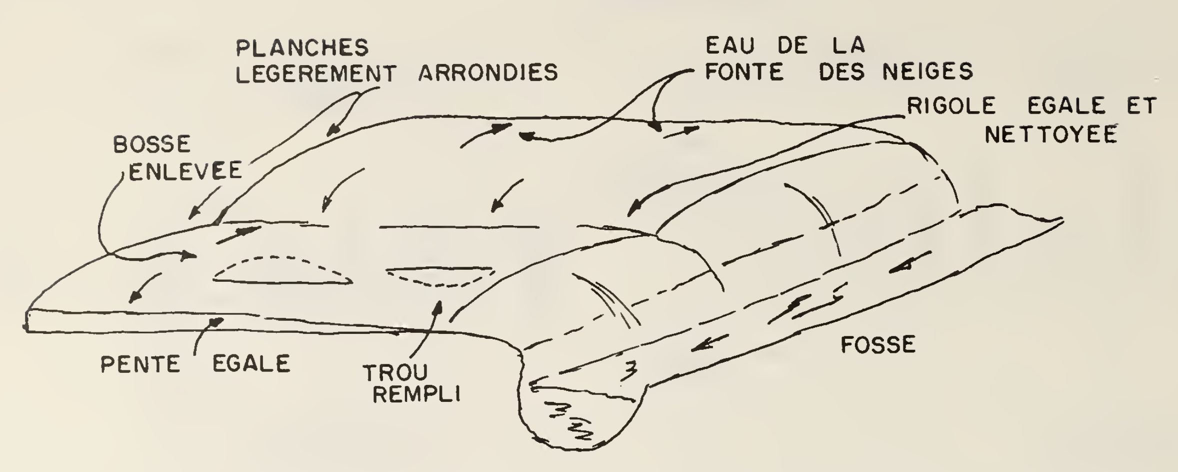


Fig.30 Le drainage superficiel est beaucoup plus important pour le semis hâtif
Barnett

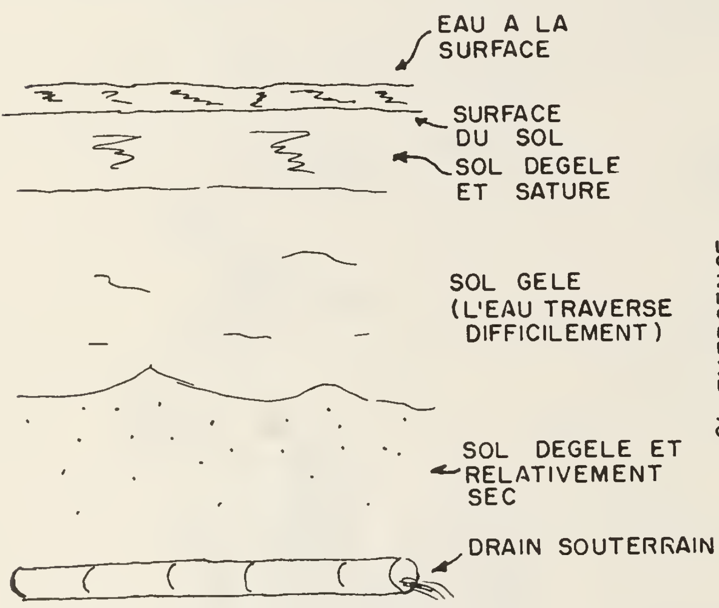


Fig.31 Le drainage superficiel est plus important que le drainage souterrain pour enlever l'eau de la fonte des neiges
Barnett

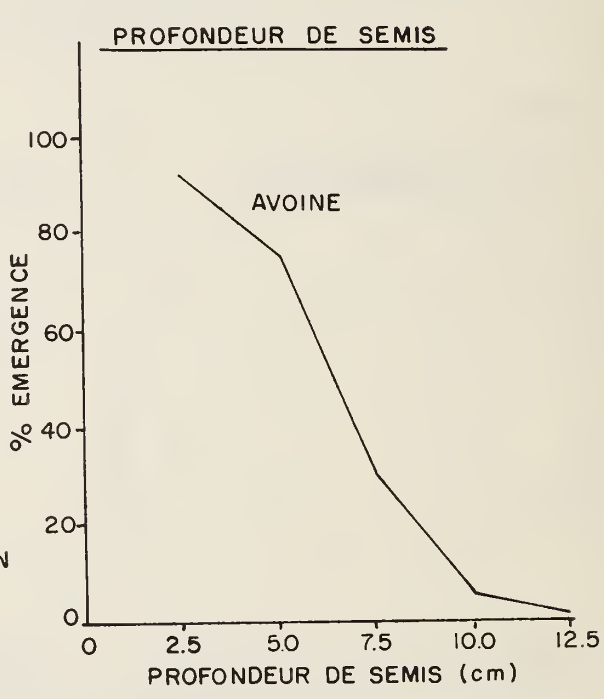


Fig. 32 Il ne faut pas semer trop profond
(recommandation: 2 à 4 cm pour céréales)
(28) dans Schlehuber et Tucker

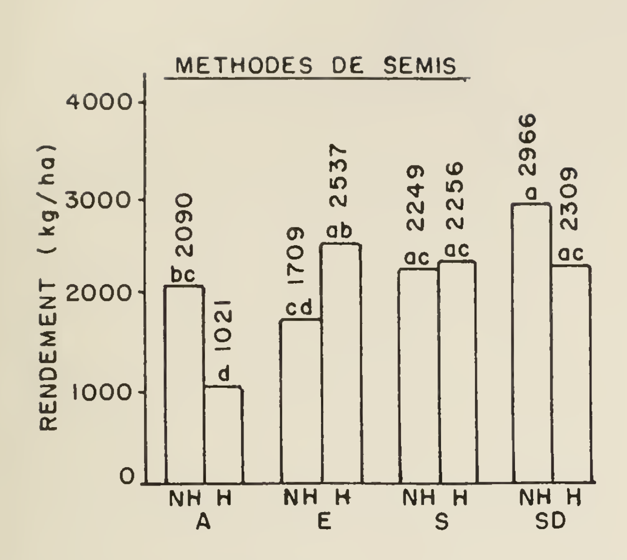


Fig.33 La date de semis est déterminée par la date à laquelle le sol permet un léger hersage et non par le genre de semoir.
(NH - non-hersé, H - herse à ressorts,
A - avion, E - épandeur à engrais,
S - semoir, SD - semoir précédé d'un disquage
(2) Barnett et Comeau

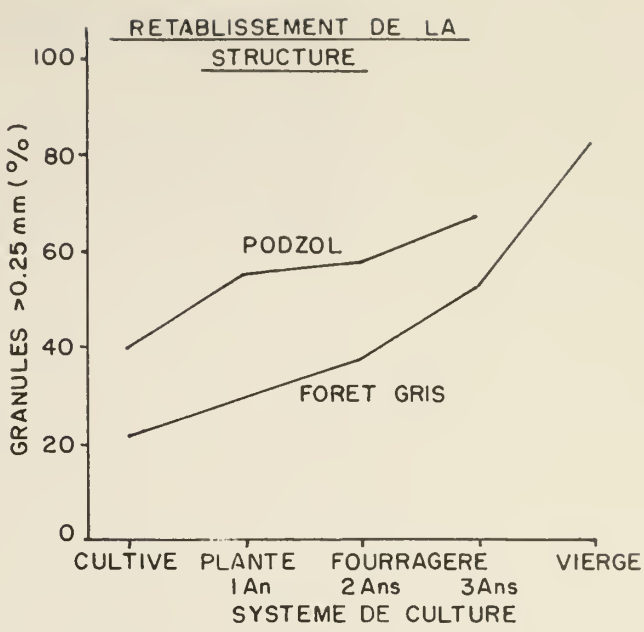


Fig.34 Les plantes fourragères améliorent la structure du sol
(4) dans Baver